

Andreas Siemon

# Avatare in Katastrophensimulationen

Entwicklung eines Katastrophen-Trainings-Systems  
zur Darstellung von Beteiligten in Großschadenslagen

Andreas Siemon

## **Avatare in Katastrophensimulationen**

Entwicklung eines Katastrophen-Trainings-Systems zur  
Darstellung von Beteiligten in Großschadenslagen

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Elektrotechnik / Informatik der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) angenommen.

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. D. Wloka

Zweiter Gutachter: Prof. Dr. A. Zündorf

Tag der mündlichen Prüfung

27. März 2013

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

Zugl.: Kassel, Univ., Diss. 2013  
ISBN 978-3-86219-610-4 (print)  
ISBN 978-3-86219-611-1 (e-book)  
URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0002-36118>

© 2013, kassel university press GmbH, Kassel  
[www.uni-kassel.de/upress](http://www.uni-kassel.de/upress)

Druck und Verarbeitung: Print Management Logistics Solutions, Kassel  
Printed in Germany

# Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand im Zeitraum von Oktober 2008 bis November 2012 am Fachgebiet Technische Informatik der Universität Kassel. Sie wäre nicht ohne die Unterstützung, den Rat und die Geduld zahlreicher Personen möglich gewesen, bei denen ich mich im nachfolgenden herzlich bedanken möchte.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer, Herrn Prof. Dr.-Ing. Dieter Wloka, für die interessante Aufgabenstellung verbunden mit der Möglichkeit, die vorliegende Arbeit an seinem Fachgebiet anfertigen zu dürfen. Weiterhin bedanke ich mich für die ausgezeichnete Betreuung, die ständige Diskussionsbereitschaft sowie die wertvollen Anregungen und Hinweise.

Herrn Prof. Dr. Albert Zündorf danke ich für die Bereitschaft, die Begutachtung meiner Arbeit mit zu übernehmen.

Ein herzlicher Dank gilt Frau Andrea Mäder, der Sekretärin des Fachgebiets Technische Informatik, die sich bereits vor meinem ersten Arbeitstag für mich eingesetzt und tatkräftig aufkommende bürokratische Hindernisse aus dem Weg geräumt hat. Ebenso möchte ich meinen Kollegen Herrn Dipl. Inf. Frank Poschner, Herrn Dipl.-Ing. Lars Holbein, Herrn M. Sc. Lianchao Li, Herrn M. Sc. Amil Shabo und Herrn Dipl.-Ing. Matthias Wolf für zahllose fruchtbare Diskussionen und das stets positive Arbeitsklima danken.

Mein Dank gilt auch meiner Familie und besonders meinen Eltern, durch deren Unterstützung ich eine wissenschaftliche Laufbahn einschlagen konnte. Insbesondere danken möchte ich meiner Freundin Anna Michalski für das Korrekturlesen der Arbeit und die zahlreichen Aufmunterungen sowie Krümelchen, das die Motivation zur Fertigstellung der Arbeit wesentlich erhöhte.

Andreas Siemon

---

# Kurzfassung

Der Einzug von Computerspielen in den Alltag ist allgegenwärtig. Sie existieren für Handys, Computerspielkonsolen und Computer selbst und stellen gegenwärtig einen eigenen Markt dar. Eine spezielle Form sind hier Spiele mit Lerneffekt, sog. Serious Games. Spiele, die dieses Konzept aufgreifen, versuchen das didaktische und motivationale Design von unterhaltungsbezogenen digitalen Spielen zur Anregung von Lernprozessen zu nutzen und einzusetzen.

Auf Basis dieser Ansätze und Technologien befasst sich die vorliegende Arbeit mit dem Einsatz von Computerspiel-Technologie für die Ausbildung von Einsatzkräften während einer Katastrophe. Der Fokus wird auf den Triage-Vorgang gelegt, der in der „realen“ Welt nur sehr kostspielig und mit hohem organisatorischem Aufwand trainiert werden kann.

Zur Abbildung des Triage-Vorgangs in der virtuellen Welt wurden verschiedene Komponenten zu einem Gesamtsystem zusammengefasst. Zunächst wurde ein abstraktes Vitalmodell entwickelt, das anhand vorhandener Verletzungen Vitalwerte berechnet und diese dem Spieler bzw. Lernenden zur Verfügung stellt. Zur Darstellung der Verletzungen wurden verschiedene Methoden und Arbeitsabläufe entwickelt, um effizient qualitativ hochwertige Avatare zu erstellen. Auch der Faktor Quantität wurde bei der Entwicklung der Arbeitsabläufe beachtet, um möglichst viele Avatare darstellen zu können, da in Großschadenslagen bzw. Katastrophen i. d. R. viele Verletzte gerettet werden müssen.

Für die Szenarien, in denen die Katastrophen stattfinden, wurden Arbeitsabläufe entwickelt, die georeferenzierte Daten in der Simulation einsetzen. Durch diese Arbeitsabläufe können Szenen entwickelt werden, in denen Gelände, Grundstücks- und Gebäudeflächen sowie das Straßenbild der realen Welt entsprechen. Die so generierten Modelle können helfen, virtuelle Katastrophen-Übungen in lokalen Umgebungen realitätsnah durchzuführen und dadurch die Einsatzkräfte vor Ort noch besser auf mögliche Katastrophen vorzubereiten. Dieses ermöglicht im realen Einsatz die

---

Konzentration bzw. Fokussierung auf einsatzspezifische Tätigkeiten.

Die Steuerung der Avatare in der virtuellen Welt geschieht unter angenäherten Echtzeitbedingungen. Somit führen die Einsatzkräfte unter realen Zeitbedingungen Tätigkeiten aus.

Insgesamt wird ein Katastrophen-Trainings-System vorgestellt, welches es ermöglicht Avatare für den Einsatz in Katastrophensimulationen zu erstellen, darzustellen und zu steuern. Mit dem System wurden Projekte und Anwendungen entwickelt, die die Leistungsfähigkeit des Systems aufzeigen.

# Abstract

The advent of computer games in everyday life is ubiquitous. They exist for mobile phones, game consoles and computers themselves and make their own market. A special type are games with learning effect so-called serious games. Games that take up this concept try to educate, motivate and stimulate learners with game technologies.

Based on these technologies and approaches, this thesis deals with the use of computer game technologies for the training of emergency responders during a disaster. The focus is placed on the triage process, because a training of this process in the "real" world is very expensive and requires a high organizational effort.

To display the triage process in the virtual world several components were combined into a single system. First, an abstract vitality model has been developed that calculates vitality values based on existing injuries. To illustrate the various injuries, methods and workflows have been created to efficiently generate high quality avatars. Also, the quantity factor was observed for the development of work processes in order to represent as many avatars because in large-scale emergencies or disasters usually many injured people need to be rescued.

For scenarios where the disasters take place, workflows have been developed that use geo-referenced data in the simulation. Through these operations, scenes can be designed in which terrain, land and building areas and streets are in accordance with the real world. The generated models can help virtual disaster exercises in local environments to perform realistic. Therefore the local teams get a better preparation for potential disasters. This allows the concentration or focus on application-specific activities in real-life.

The control of the avatars in the virtual world happens at near real-time conditions. Thus, the forces can perform activities under real-time conditions.

Overall a system is presented that allows to create, display and control avatars for use in disaster simulations. With the system applications have been developed,



---

which are presented at the end and demonstrate the performance of the system.

# Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	xiii
---------------------	------

Abbildungsverzeichnis	xv
-----------------------	----

<b>I Einleitung und Grundlagen</b>	<b>1</b>
------------------------------------	----------

<b>1 Einleitung und Motivation</b>	<b>3</b>
------------------------------------	----------

1.1 Forschungsfragen und Zielsetzung der Arbeit . . . . .	6
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	10

<b>2 Konzeptionelle und begriffliche Grundlagen</b>	<b>13</b>
---	-----------

2.1 Grundlagen und Definitionen in der Computergrafik . . . . .	13
2.1.1 Dreidimensionale Strukturen . . . . .	13
2.1.2 3D-Modelle . . . . .	14
2.1.3 Animation von 3D-Modellen . . . . .	15
2.1.4 Virtueller Mensch . . . . .	19
2.1.5 Aufbau eines Avatars . . . . .	20
2.2 Medizinische Grundlagen . . . . .	21
2.2.1 Vitalfunktionen . . . . .	21
2.2.1.1 Respiratorisches System . . . . .	22
2.2.1.2 Herz und Kreislauf . . . . .	22
2.2.1.3 Bewusstsein . . . . .	24
2.2.2 Vitalparameter . . . . .	24
2.2.2.1 Puls . . . . .	24
2.2.2.2 Körpertemperatur . . . . .	25
2.2.2.3 Blutdruck . . . . .	25

2.2.2.4	Atemfrequenz . . . . .	26
2.2.2.5	Blut . . . . .	27
2.3	Katastrophen und Katastrophenschutz . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>29</b>
3.1	Aufgaben und Ausbildung von Einsatzkräften . . . . .	29
3.1.1	Feuerwehr . . . . .	30
3.1.1.1	Ausbildung der Freiwilligen Feuerwehren . . . . .	30
3.1.1.2	Ausbildung der Berufsfeuerwehr . . . . .	33
3.1.1.3	Unterrichtsorganisation und -methoden . . . . .	34
3.1.2	Technisches Hilfswerk (THW) . . . . .	35
3.1.3	Organisationsübergreifend . . . . .	37
3.1.4	Schnittmenge der Ausbildung von Organisationen mit Katastrophenschutzaufgaben . . . . .	38
3.1.5	Triage Ablauf . . . . .	39
3.1.5.1	START . . . . .	40
3.1.5.2	mSTART . . . . .	40
3.1.5.3	Basis-Check . . . . .	40
3.1.5.4	Dokumentation der Triage . . . . .	43
3.1.5.5	Übersicht Vitalparameter . . . . .	43
3.2	Einsatzkräfte-Trainingssoftware . . . . .	44
3.3	Bisherige Forschungen und Forschungsprojekte . . . . .	50
3.3.1	Verwandte Publikationen . . . . .	50
3.3.2	Geförderte Projekte . . . . .	52
3.4	Simulationen der realen Welt . . . . .	53
3.5	Zusammenfassung . . . . .	54
<b>II</b>	<b>Eigener Ansatz</b>	<b>57</b>
<b>4</b>	<b>Planung des Katastrophen-Trainings-Systems</b>	<b>59</b>
4.1	Arten von Katastrophen und ihre Folgen . . . . .	59
4.2	Anwender . . . . .	62
4.3	Triage-Vorgang . . . . .	62
4.4	Beteiligte einer Katastrophe . . . . .	63

4.5	Virtuelle Realität . . . . .	63
<b>5</b>	<b>Konzept des Katastrophen-Trainings-Systems</b>	<b>65</b>
5.1	Anforderungen des Systems . . . . .	65
5.2	3D-Game-Engine . . . . .	66
5.3	Integration eines Vitalmodells . . . . .	83
5.4	Darstellung der Vitalparameter . . . . .	84
5.5	Darstellung von Verletzungen . . . . .	85
5.6	Erste Hilfe bei Verletzungen . . . . .	85
5.7	Avatar-Entwicklungsprozess . . . . .	86
5.7.1	Avatar-Datenbanken . . . . .	88
5.7.2	Avatar-Erstellungstools . . . . .	88
5.7.3	Auswahl geeigneter Basis-Avatare . . . . .	92
5.8	Steuerung von Avataren und Interagieren mit Ausrüstungsgegenständen	94
5.8.1	Interaktion mit Ausrüstungsgegenständen . . . . .	94
5.8.2	Steuerungs-Interface . . . . .	95
5.9	Virtuelle Szenarien . . . . .	95
5.9.1	Stadtgeneratoren . . . . .	97
5.9.2	Auswahl eines Stadtgenerators . . . . .	102
<b>6</b>	<b>Vitalfunktionen und Berechnung der Vitalparameter</b>	<b>105</b>
6.1	Berechnungsmodelle . . . . .	105
6.1.1	Respiratorisches System . . . . .	106
6.1.2	Herz und Kreislauf . . . . .	107
6.1.2.1	Puls . . . . .	107
6.1.2.2	Temperatur . . . . .	107
6.1.2.3	Blutdruck . . . . .	108
6.1.2.4	Blut . . . . .	108
6.1.3	Bewusstsein . . . . .	109
6.2	Typische Verletzungsbilder in Katastrophen . . . . .	110
6.2.1	Wunden . . . . .	110
6.2.2	Thermische Verletzungen . . . . .	110
6.2.3	Frakturen . . . . .	112
6.2.4	Störung der Atemwege . . . . .	113

6.2.5	Bewusstseinsstörungen . . . . .	114
6.3	Auswirkungen von Verletzungen auf Vitalparameter . . . . .	115
6.3.1	Atemfrequenz . . . . .	117
6.3.1.1	Störung der Atemfunktion . . . . .	117
6.3.1.2	Blutverlust . . . . .	118
6.3.1.3	Verbrannte Körperoberfläche . . . . .	118
6.3.2	Puls . . . . .	119
6.3.2.1	Blutverlust . . . . .	119
6.3.2.2	Verbrannte Körperoberfläche . . . . .	120
6.3.2.3	Störung der Atemfunktion . . . . .	120
6.3.3	Arterieller Blutdruck . . . . .	121
6.3.3.1	Blutverlust . . . . .	122
6.3.3.2	Verbrannte Körperoberfläche . . . . .	123
6.3.3.3	Störung der Atemfunktion . . . . .	123
6.3.4	Temperatur . . . . .	125
6.4	Anwendung von Erster Hilfe bei Verletzungen . . . . .	126
6.4.1	Freimachen der Atemwege . . . . .	126
6.4.2	Lagerungstherapie . . . . .	127
6.4.3	Wundversorgung . . . . .	128
<b>7</b>	<b>Erstellung von Avataren für Katastrophensimulationen</b>	<b>129</b>
7.1	Grundlegende Vorgehensweise . . . . .	130
7.2	Entwicklung von Kleidung . . . . .	132
7.3	Erstellung von Einsatzkräften . . . . .	140
7.4	Erstellung von Schaulustigen . . . . .	146
7.5	Erstellung von verletzten Avataren . . . . .	147
7.6	Animationen . . . . .	149
7.7	Verwaltung und Verwendung der verletzten Avatare in Unity 3D . . .	152
<b>8</b>	<b>Darstellung von Vitalparametern und Verletzungen</b>	<b>155</b>
8.1	Visuelle und akustische Darstellung von Vitalparametern . . . . .	155
8.1.1	Atemfrequenz . . . . .	155
8.1.2	Blutdruck . . . . .	157
8.1.3	Puls . . . . .	158

8.1.4	Temperatur . . . . .	158
8.1.5	Bewusstsein . . . . .	158
8.2	Darstellung von Verletzungen . . . . .	159
8.2.1	Einteilung des Avatars in Körperregionen . . . . .	159
8.2.2	Wunden . . . . .	160
8.2.3	Frakturen . . . . .	161
8.2.4	Thermische Verletzungen . . . . .	163
8.2.5	Störung der Atemwege . . . . .	164
8.2.6	Bewusstseinsstörungen . . . . .	165
8.3	Darstellung von Erster-Hilfe . . . . .	166
<b>9</b>	<b>Realisierung des Vitalmodells</b>	<b>169</b>
9.1	Vitalparameter . . . . .	170
9.1.1	Atemfrequenz . . . . .	171
9.1.2	Blut . . . . .	171
9.1.3	Puls . . . . .	172
9.1.4	Blutdruck . . . . .	172
9.1.5	Temperatur . . . . .	172
9.2	Darstellung . . . . .	172
9.2.1	Prozedurale Texturen . . . . .	173
9.2.2	UV-Skalierung . . . . .	174
9.2.3	Kommunikation . . . . .	175
9.2.4	Animationen . . . . .	176
9.2.5	Körperregionen . . . . .	176
9.2.6	Steuerung . . . . .	177
9.3	Verletzungen . . . . .	178
9.3.1	Wunden . . . . .	178
9.3.2	Frakturen . . . . .	179
9.3.3	Thermische Verletzungen . . . . .	180
9.3.4	Störung der Atemwege . . . . .	181
9.3.5	Bewusstseinsstörungen . . . . .	182
9.4	Erste Hilfe . . . . .	183

<b>10 Erstellung virtueller Szenarien</b>	<b>185</b>
10.1 Vorverarbeitung . . . . .	186
10.2 Aufbereitung des Geländemodells . . . . .	188
10.3 Verarbeitung der Daten mit City-Engine . . . . .	189
10.3.1 Import und Aufbereitung . . . . .	189
10.3.2 Regelbasierte Gebäudeerstellung . . . . .	191
10.3.3 Regelbasierte Straßenerstellung . . . . .	192
10.3.4 Export . . . . .	193
10.4 Integration der Modelle in der Game-Engine . . . . .	195
<b>11 Interaktion in der virtuellen Realität</b>	<b>197</b>
11.1 Steuerung und Sichtweise der Avatare . . . . .	197
11.2 Interaktion mit Gegenständen . . . . .	200
<b>12 Anwendungen des Katastrophen-Trainings-Systems</b>	<b>205</b>
12.1 Anwendung der Triage nach einem Zugunfall . . . . .	205
12.2 Zimmerbrand . . . . .	207
12.3 Ausleuchten von Einsatzstellen . . . . .	211
<b>III Resümee</b>	<b>215</b>
<b>13 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>217</b>
13.1 Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . .	217
13.2 Ausblick . . . . .	219
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>221</b>
<b>IV Anhang</b>	<b>241</b>
<b>A Körperregionen Template</b>	<b>243</b>
<b>B City-Engine Implementierungen</b>	<b>245</b>
<b>C Mary-TTS Implementierungen</b>	<b>249</b>

# Tabellenverzeichnis

1	Zusammensetzung der Ein- und Ausatemluft . . . . .	22
2	Ausmaß von Schadenslagen . . . . .	28
3	Lernabschnitte der THW-Grundausbildung . . . . .	36
4	Sichtungskategorien . . . . .	39
5	Abgefragte Vitalparameter und Symptome bei der Triage . . . . .	44
6	Merkmale der Einsatzkräfte-Training-Software . . . . .	49
7	Definition und Beispiele des NACA-Scores . . . . .	61
8	3D-Grafikformate und ihre Merkmale . . . . .	68
9	Merkmale der untersuchten Game-Engines . . . . .	82
10	Gegenüberstellung der Möglichkeiten zur Avatarerstellung . . . . .	93
11	Unterschiede der Suicidator City Generator Versionen . . . . .	100
12	Übersicht der Merkmale von 3D-Stadtgeneratoren . . . . .	102
13	Altersabhängige Atemfrequenz und Atemzugvolumen . . . . .	106
14	Abhängigkeit des Ruhepulses vom Alter . . . . .	107
15	Referenzwerte für Hämoglobin . . . . .	109
16	Glasgow Coma Scale . . . . .	114
17	Abschätzung des Blutverlustes . . . . .	115
18	Klassifikation des arteriellen Blutdrucks . . . . .	121
19	Namen der Skelettknochen in MotionBuilder und MakeHuman . . . . .	151
20	FPS bei der Darstellung von N-Avataren . . . . .	154
21	Fragen zur Klärung des Bewusstseins . . . . .	165
22	Prioritäten bei prozeduralen Texturen . . . . .	174



23	Prioritäten der Animationsarten . . . . .	176
24	Zuordnung von Körperteilen zu Körperregion . . . . .	177
25	Regeln von Gebäudetypen und deren Eigenschaften . . . . .	192
26	Verletzungsbilder der Avatare . . . . .	209

# Abbildungsverzeichnis

1	Screenshot der Simulationsumgebung Moonshine . . . . .	9
2	Dreidimensionales Koordinatensystem . . . . .	14
3	Texture Mapping eines Teapots . . . . .	15
4	Optisches Motioncapture System . . . . .	17
5	Exemplarisches Polygon-Netz eines Avatars . . . . .	21
6	Vereinfachte Darstellung des Blutkreislaufs . . . . .	23
7	Darstellung der Körperkerntemperatur in unterschiedlichen Umgebungen	26
8	Vereinfachte Darstellung eines EKG . . . . .	26
9	Ausbildungsplan der Feuerwehren . . . . .	31
10	Stufen der Truppmann-Ausbildung . . . . .	32
11	Flussdiagramm des START Algorithmus . . . . .	41
12	Fulssdiagramm des mSTART Algorithmus . . . . .	42
13	Vorder- und Rückseite der Verletzten-Anhängekarte . . . . .	43
14	Darstellung eines Verletzten in SAFER . . . . .	48
15	Sandbox der CryEngine 3 mit geladenem Projekt Forest.cry . . . . .	72
16	Editor UnrealEd mit geladenem Projekt ExampleMap . . . . .	74
17	Unity Editor mit geladenem Projekt Bootcamp . . . . .	76
18	Editor STAGE mit geladenem Projekt Firefighter . . . . .	78
19	Editor Ogitor mit geladenem Projekt SampleOFS . . . . .	79
20	ICS und die genutzten Open-Source-Bibliotheken . . . . .	80
21	ICS-Designer und ICS-Editor Moonshine . . . . .	81
22	Komponenten für die Entwicklung eines Vitalmodells . . . . .	84
23	Screenshot der Software Poser 7 . . . . .	89
24	Screenshot der Software QUIDAM . . . . .	90

25	Screenshot der Software MakeHuman . . . . .	91
26	Ausschnitt aus einer Simulation der Software DI-Guy . . . . .	93
27	Kartenausschnitt des Projekts OpenStreetMap . . . . .	97
28	Screenshot der Software Cityengine . . . . .	99
29	Screenshot einer generierten Stadt mit Suicidator City Generator . .	101
30	Screenshot einer generierten Stadt mit ghostTown . . . . .	102
31	Einteilung der Körperregionen nach der Neunerregel . . . . .	111
32	Möglicher Blutverlust durch Frakturen . . . . .	112
33	Darstellung von Aktivitäten in BPMN . . . . .	130
34	Aktivitäten zur Erstellung eines Avatars . . . . .	131
35	Dynamische Anpassung von Kleidung bei parametrisierten Avataren .	132
36	Kleidungsbibliothek von MakeHuman . . . . .	133
37	Aktivitäten zur Erstellung von Kleidungsstücken . . . . .	133
38	Basis-Avatar exportiert aus MakeHuman . . . . .	134
39	Erzeugen von Falten auf einem T-Shirt . . . . .	135
40	Aktivitäten zur Erstellung einer Normal-Map mit 3D-Sculpting-Tools	135
41	Sculpting Pinsel in Autodesk Mudbox . . . . .	136
42	NVIDIA-Filter erzeugte Normal-Map . . . . .	137
43	Einfarbige Textur mit erzeugter Normal-Map . . . . .	138
44	Kollision von Körper und Kleidung . . . . .	138
45	Einsatz einer Transparenz-Maske für die Körpertextur . . . . .	139
46	Aktivitäten zur Erstellung des Kleidungsstücks mit Makecloth . . . .	139
47	Mit Kleidung angezogener Avatar in MakeHuman . . . . .	141
48	Einsatzkleidung und Ausrüstungsgegenstände der BF Kassel . . . . .	141
49	Atenschutzgeräteträger des Technischen Hilfswerks OV-Melsungen . .	142
50	Aktivitäten zur Erstellung von Einsatzkräften . . . . .	143
51	Morph-target Visem A . . . . .	144
52	3D-Modell einer Einsatzkraft mit erstelltem und angepasstem Biped .	145
53	Erstellte 3D-Modelle der Einsatzkräfte . . . . .	145
54	Aktivitäten innerhalb MakeHuman zur Erstellung von Schaulustigen .	146
55	Modell eines Schaulustigen in der Game-Engine Unity 3D . . . . .	147
56	Aktivitäten zur Erstellung von verletzten Avataren . . . . .	148

---

57	Parameter in MakeHuman zum Einstellen von Geschlecht, Alter und Gewicht . . . . .	148
58	Darstellung von MakeHuman-Morph-targets . . . . .	149
59	Aktivitäten innerhalb MotionBuilder zur Animation von Avataren . .	150
60	Aktivitäten innerhalb Unity 3D zur Aufbereitung der verletzten Avatare	152
61	Vermeidung der Kollision von Kleidung und Körper in Unity 3D . . .	153
62	Vereinfachte Darstellung der Atemkurve . . . . .	156
63	Aufteilung der Regionen des Körpers der Makehuman Textur . . . . .	159
64	Beispielhafte Aufteilung der Regionen einer Jeans . . . . .	160
65	Darstellung von Wunden mit einer Textur . . . . .	161
66	Erzeugte Fehlstellungen und Darstellung in 3D Studio Max . . . . .	162
67	Erzeugte Hämatom-Template-Textur . . . . .	163
68	Darstellung der Verbrennungsgrade II und III . . . . .	164
69	Generierte Textur aus Kleidungstextur und Verkohlung . . . . .	164
70	Darstellung des Überstreckens des Kopfes in MotionBuilder . . . . .	167
71	Darstellung der Stablen Seitenlage in MotionBuilder . . . . .	167
72	Darstellung der finalen Position der Schocklage in MotionBuilder . . .	168
73	Komponentendiagramm des Vitalmodells in UML . . . . .	169
74	Klassendiagramm der Komponente VitalParameters in UML . . . . .	170
75	Einstellung der Vitalparameter mit dem Unity 3D Inspector . . . . .	171
76	Klassendiagramm der Komponente Display in UML . . . . .	173
77	Unterschiedliche Zustände der Pupillen . . . . .	175
78	Klassendiagramm der Komponente Disorders in UML . . . . .	178
79	Einstellung der Verletzung mit dem Unity 3D Inspector . . . . .	179
80	Darstellung einer Wunde auf dem linken Oberarm in Unity 3D . . . . .	180
81	Darstellung von Frakturen in Unity 3D . . . . .	181
82	Darstellung der drei Verbrennungsgrade in Unity 3D . . . . .	182
83	Klassendiagramm der Komponente FirstAid in UML . . . . .	183
84	Arbeitsschritte zur Erstellung virtueller Szenarien . . . . .	186
85	Arbeitsschritte zur Vorverarbeitung der Geodaten in Quantum GIS .	187
86	Vereinfachung des Grundrisses . . . . .	188
87	Räumliche Bezugssysteme in Quantum GIS und City-Engine . . . . .	190

88	Anpassung des Straßennetzes an das Geländemodell . . . . .	191
89	Erstellung von Gebäuden in Abhängigkeit des Parameters LOD . . .	192
90	Spezielle Regeln für Gebäude . . . . .	193
91	Generierte Straßenbereiche mit City-Engine . . . . .	194
92	Einstellungen des Exportdialogs in City-Engine . . . . .	194
93	Parameter zur Erstellung eines Terrains in Unity 3D . . . . .	195
94	Darstellung eines km <sup>2</sup> der Stadt Kassel in Unity 3D . . . . .	196
95	Beispiel des Nehmens einer Kiste mit dem CCD-Algorithmus . . . . .	198
96	Schematische Darstellung der drei CasCAVE-Kameras in Unity 3D .	200
97	Original und 3D-Modell eines Stromerzeugers sowie Auflistung der Hierarchie . . . . .	202
98	Darstellung der GUI des Stromerzeugers . . . . .	203
99	Ausgangs-Lage nach Eintreffen der Einsatzkräfte . . . . .	205
100	Sichtungs-Aktions-Menü . . . . .	207
101	Sichtung und Dokumentation in der virtuellen Triage . . . . .	208
102	Darstellung einer angetretenen Feuerwehr-Gruppe . . . . .	210
103	Darstellung der Bereitstellung mit Unterflurhydrant . . . . .	210
104	Bereitstellung Unterflurhydrant im Mehr-Spieler-Modus . . . . .	211
105	Bereitstellung Unterflurhydrant in der CasCAVE in 3D-Stereo . . . .	212
106	Ausleuchten einer Einsatzstelle integriert in die E-Learning-Plattform	213

# **Teil I**

## **Einleitung und Grundlagen**



# 1 Einleitung und Motivation

Ein Passagier-Flugzeug stürzt in ein besiedeltes Wohngebiet. Es kommt zu einer Explosion, die auch noch mehrere Kilometer entfernt wahrgenommen wird. Sofort werden Rettungskräfte alarmiert. Welche Situation die Rettungskräfte erwartet, ist unklar. Klar ist jedoch, dass es für viele Rettungskräfte die erste Katastrophe ist, die sie zu bewältigen haben.

Katastrophen bzw. Großschadenslagen sind, ob durch den Menschen oder die Natur ausgelöst, für alle Beteiligten ein Schreckensszenario. Dabei treten vor allem Gefahren für Mensch, Tier oder Sachgüter auf. Um dieses Szenario zu bewältigen, ist es essenziell, gut ausgebildete Einsatzkräfte zu haben. Diese Einsatzkräfte auszubilden ist jedoch schwierig, da eine Großschadenslage nur sehr schwer trainierbar ist. Innerhalb einer Katastrophensituation entsteht eine gewisse Unordnung, die wieder in eine Ordnung gebracht werden muss.<sup>1</sup> Auch die Einsatzkräfte müssen Katastrophen bewältigen. Dabei ist es wichtig, innerhalb der Katastrophe wie beispielsweise einer Gasexplosion oder einem Hochwasser, Ordnung herzustellen und zu bewahren. Eine mögliche Hilfe bei der Vorbereitung auf solche Situationen können Simulationen sein, die einen Weg zur Situationsbewältigung aufweisen.

Der Begriff Katastrophe wird im Hessischen Gesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz nach § 24 wie folgt definiert:

„Katastrophe im Sinne dieses Gesetzes ist ein Ereignis, das Leben, Gesundheit oder die lebensnotwendige Versorgung der Bevölkerung, Tiere, erhebliche Sachwerte oder die natürlichen Lebensgrundlagen in so ungewöhnlichem Maße gefährdet oder beeinträchtigt, dass zur Beseitigung die einheitliche Lenkung aller Katastrophenschutzmaßnahmen sowie der Einsatz von Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzes

---

<sup>1</sup>Vgl. Voss, M.: Symbolische Formen: Grundlagen und Elemente einer Soziologie der Katastrophe. Bielefeld: Transcript Verlag, 2006, S. 10.



erforderlich sind.“<sup>2</sup>

Zur Bewältigung einer Katastrophe werden Einheiten und Einrichtung des Katastrophenschutzes eingesetzt. Diese können aus Führung, Information und Kommunikation, Brandschutz, Gefahrstoff-ABC, Sanitätswesen, Betreuung, Wasserrettung sowie Bergung und Instandsetzung bestehen. Die Mitwirkung kann durch öffentliche und/oder private Einheiten und Einrichtungen erfolgen. Öffentliche Einheiten sind beispielsweise Feuerwehr, Polizei und Technisches Hilfswerk (THW). Private Träger sind beispielsweise Arbeiter-Samariter-Bund (ASB), Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft (DLRG) oder das Deutsche Rote Kreuz (DRK).

Ein Resultat von Katastrophen sind in den meisten Fällen Verletzte. Abhängig von der jeweiligen Situation treten unterschiedliche Verletzungen auf. Beim ICE-Unglück von Eschede 1998 wurden beispielsweise 101 Tote, 88 Schwerverletzte und 15 Leichtverletzte gezählt. Zu den häufigsten Verletzungen gehörten damals innere Blutungen, Schädel-Hirn-Traumata und Frakturen. In den ersten vier Stunden des Unglücks kamen aus den unterschiedlichen Organisationen (Feuerwehr, Rettungsdiensten, THW, Bundespolizei und Bundeswehr) 1844 Personen zum Einsatzort.<sup>3</sup>

Auch bei der Brandkatastrophe am Düsseldorfer Flughafen 1996 gab es Tote und Verletzte. Bei diesem Brand erstickten 16 Menschen am Brandort und ein weiterer an den Folgen einer Kohlenmonoxidvergiftung. 72 Personen wurden zum Teil schwer, mehrere Hundert leicht verletzt.<sup>4</sup> Bei den Verletzungen handelte es sich ebenfalls größtenteils um Kohlenmonoxidvergiftungen. Bei diesem Einsatz waren 701 Personen von 12 verschiedenen Rettungsdiensten oder Gemeinden im Einsatz. Ein Kritikpunkt bei der Nachbearbeitung des Einsatzes war die mangelnde Vertrautheit mit dem Gebäude.<sup>5</sup> Diese mangelnde Vertrautheit könnte durch den Einsatz von Übungen verringert werden. Eine Übung während des regulären Flugbetriebs ist allerdings

---

<sup>2</sup>Hessisches Gesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz (Hessisches Brand- und Katastrophenschutzgesetz - HBKG) in der Fassung vom 3. Dezember 2010

<sup>3</sup>Vgl. OESTERN, H. J. et al.: Facts concerning the Eschede disaster. In: Der Unfallchirurg, 101 1998 (URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s001130050344>), S. 813.

<sup>4</sup>Vgl. FEUERWEHR UND RETTUNGSDIENST LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF: Flughafenbrand Düsseldorf 11. April 1996. (URL: <http://www.duesseldorf.de/feuerwehr/pdf/alle/flughbrand.pdf>) – Zugriff am 01.11.2011, S. 1.

<sup>5</sup>Vgl. NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION: Abschließender Bericht über den Brandhergang Düsseldorf. (URL: <http://www.nfpa.org/assets/files/pdf/dusseldorf.german.pdf>) – Zugriff am 01.11.2011, S. 4.

---

sehr schwer zu realisieren. An dieser Stelle könnte der Einsatz von Virtueller Realität helfen.

Die Möglichkeit, Katastrophen in einer virtuellen Welt zu simulieren, bietet neue Ansätze der Aus- und Weiterbildung von Einsatzkräften. In der virtuellen Realität lassen sich durch leistungsfähige Computer auch komplexe Zusammenhänge, wie beispielsweise die Ausbreitung eines Feuers in einem Gebäude, oder auch das komplexe System eines Menschen simulieren. Ein Avatar, wie ein virtueller Charakter auch genannt wird, steht für einen künstlichen Menschen oder ist ein grafischer Stellvertreter einer echten Person in einer virtuellen Welt.<sup>6</sup> Avatare werden heute in verschiedensten Einsatzgebieten genutzt. Ob in Film, Werbung, Musikvideos oder Computerspielen, Avatare sind in verschiedenen Medien in unterschiedlichen Ausprägungen zu finden.

Interaktive Simulationen, auch digitale Lernspiele oder „Serious Games“ genannt, spielen eine immer größere Rolle in der Ausbildung von taktischen Einheiten, wie beispielsweise bei Streitkräften im Spiel America’s Army.<sup>7</sup> ZYDA definiert Serious Games wie folgt:

„Serious Games: a mental contest, played with a computer in accordance with specific rules, that uses entertainment to further government or corporate training, education, health, public policy and strategic communication objectives.“<sup>8</sup>

Serious Games sind demnach Computerspiele, die von einem Spieler eine psychische Auseinandersetzung mit spezifischen Regeln fordern. Dabei nutzen Serious Games eine Art Unterhaltung bzw. Entertainment, um beispielsweise Corporate Training, Ausbildung, Gesundheit oder Öffentliche Richtlinien zu fördern. „Serious Games basieren auf einem pädagogische[n] Konzept“<sup>9</sup> und bieten Trainingsmöglichkeiten in einer Lernumgebung. Die Interaktivität der Lernenden innerhalb eines Serious Games fördert Fach-, Methoden-, Selbst- und Sozialkompetenz.<sup>10</sup>

---

<sup>6</sup>Vgl. TÜMMLER, JÖRN: Avatare in Echtzeitsimulationen. Kassel: kassel university press GmbH, 2007, S. 7.

<sup>7</sup>UNITED STATES ARMY: America’s Army. (URL: <http://www.americasarmy.com/>) – Zugriff am 17.09.2009.

<sup>8</sup>ZYDA, M.: From visual simulation to virtual reality to games. In: Computer, 2005, S. 26.

<sup>9</sup>METZ, MAREN/THEIS, FABIENNE: Einleitung. In: METZ, MAREN/THEIS, FABIENNE (Hrsg.): Digitale Lernwelt - SERIOUS GAMES: Einsatz in der beruflichen Weiterbildung. 1. Auflage. Bielefeld: Bertelsmann, 2011, S. 9.

<sup>10</sup>Vgl. METZ/THEIS: Einleitung, S. 9.

Mit Serious Games entsteht das Game-Based-Learning. CORTI definiert die Vorteile des Game-Based-Learning folgendermaßen:

„This is where game-based learning delivers its true value. It puts learners into a highly realistic recreation of a vocationally relevant scenario, which they will recognise, understand and buy into.“<sup>11</sup>

Wichtige Faktoren für Computer-Spiele und damit auch für das Game-Based-Learning sind u. a. Spaß, Regeln, Ziele, Interaktivität, Problemlösung und eine Story.<sup>12</sup> Durch Spaß an einem Thema lernt der Mensch freiwillig und vor allem unbewusst. Die Einhaltung dieser Regeln ermöglicht und fördert den Lernprozess.<sup>13</sup>

### 1.1 Forschungsfragen und Zielsetzung der Arbeit

Katastrophen zu trainieren, ist ein schwieriger, zeit- und kostenintensiver Prozess. Zunächst muss eine solche Katastrophenübung geplant werden. In der Regel wird ein Drehbuch mit einer Rollenverteilung und einem wahrscheinlichen Ablauf erstellt. Anhand des Drehbuchs müssen Schauspieler, die die Verletzten spielen, engagiert und aufwendig für die entsprechende Situation geschminkt werden.

Generell müssen bei einer Katastrophenschutzübung verschiedene Einheiten zusammenspielen. Allerdings haben nicht alle Einheiten innerhalb der Übung miteinander zu tun. Es entstehen demnach je nach Einheit, beispielsweise Feuerwehruzug, Technischer Zug oder Rettungszug, verschiedene Szenarien, die durchgespielt werden.

Im August 2011 wurde im Landkreis Schwalm-Eder eine Katastrophenschutzübung durchgeführt. An der Übung nahmen ca. 530 Personen unterschiedlicher Organisationen teil. An der Übungsplanung waren durchschnittlich 4 Personen beteiligt und die Planung umfasste eine Zeit von ca. 35 Stunden pro Person. Sie begann bereits im September 2009. Das Drehbuch sah einen Flugzeugabsturz in ein Gebiet mit mittlerer Besiedlung vor. Trümmerteile beschädigten Gebäudeteile einer Fabrik und

---

<sup>11</sup>CORTI, KEVIN: Serious Games. In: Learning Magazine, 1 2005 (URL: [http://www.pixelearning.com/docs/pdfs/wolce\\_learning\\_mag.pdf](http://www.pixelearning.com/docs/pdfs/wolce_learning_mag.pdf)), S. 7.

<sup>12</sup>Vgl. PRENSKY, MARC: Digital Game-Based Learning. Saint Paul, USA: Paragon House, 2008, S. 5.

<sup>13</sup>Vgl. FRANK, GERNOLD: Game-Based Learning - Darf Lernen auch Spaß machen? In: METZ, MAREN/THEIS, FABIENNE (Hrsg.): Digitale Lernwelt - SERIOUS GAMES: Einsatz in der beruflichen Weiterbildung. 1. Auflage. Bielefeld: Bertelsmann, 2011, S. 60.

steckten diese in Brand.<sup>14</sup> Die teilnehmenden Einsatzkräfte waren hauptsächlich aus der näheren Umgebung der Stadt Felsberg (Schwalm-Eder-Kreis) und ehrenamtlich in ihren Organisationen tätig. Berechnet man alleine die Planungsstunden und geht von einem Stundensatz von 20 € aus, würden diese Kosten 2.800 € betragen. Setzt man den gleichen Satz bei den Angehörigen der Rettungsorganisationen während der Übung ein, ist bei einer 5-stündigen Übung von zusätzlichen Kosten in Höhe von 53.000 € auszugehen. Diese Kosten beinhalten jedoch keine Verpflegungs-, Anfahrts- oder Materialkosten. Die aufgezählten Kosten werden i. d. R. nicht in Rechnung gestellt, da die Übungen ehrenamtlich organisiert und durchgeführt werden.

Bei einer Katastrophe gibt es in der Regel verschiedene Beteiligte. Einsatzkräfte werden durch Behörden mit Katastrophenaufgaben gestellt. Beispiele sind hierfür die Feuerwehren (Berufsfeuerwehren, Freiwillige Feuerwehren, Werksfeuerwehren), das Technische Hilfswerk (THW), Rettungsdienste wie das Rote Kreuz, Johanniter-Unfall-Hilfe oder Ordnungsbehörden (Polizei). Des Weiteren sind bei Katastrophen immer Opfer involviert. Bei Opfern können verschiedene Verletzungen je nach Katastrophe auftreten. Häufig auftretende sind beispielsweise Frakturen, Vergiftungen, Verbrennungen oder Schockzustände. Je nach Verletzung müssen entsprechende Maßnahmen getroffen werden. Die letzte Gruppe von Beteiligten beinhaltet Zeugen und Schaulustige. Diese Gruppe kann Informationen über das Geschehen geben oder den Einsatzablauf stören bzw. behindern.

Die Integration dieser Beteiligten in eine Computersimulation ist eine Möglichkeit, um die Ausbildung der Einsatzkräfte zu ergänzen und so das Lernen am Computer durch Serious Games zu ermöglichen. Serious Games finden bereits in verschiedenen Bereichen Anwendung, wie beispielsweise in der Medizin oder bei dem Militär. Auch Kinder können mit Serious Games lernen. Ein Beispiel dafür ist die RMS Fahrradwelt<sup>15</sup>, eine am Fachgebiet Technische Informatik entwickelte Software, mit deren Hilfe Kinder zwischen 8 und 12 Jahren ihre Fähigkeiten und Kenntnisse beim Fahrradfahren in einer virtuellen Realität vertiefen. Studien belegen, dass das Trainieren durch Spiele einen positiven Effekt auf die reale Situation bewirken kann.<sup>16</sup>

---

<sup>14</sup>SCHILD, THOMAS: Re: Katastrophenschutzübung Schwalm Eder. E-Mail, 2011.

<sup>15</sup>Vgl. WLOKA, DIETER: Rad fahren mit Multimedia-Software (RMS). In: Zeitschrift für Verkehrserziehung, 03 2005.

<sup>16</sup>SIEMON, ANDREAS et al.: Video Games can Improve Performance in Sports - An Empirical Study with Wii™ Sports Bowling. In: Workshop on Human-Machine-Interaction at KI 2009. Paderborn, 2009.

Aufgrund des aktuellen Stands der Technik (vgl. Kapitel 3) können folgende Fragen aufgestellt werden.

- Wie kann das Vitalsystem eines Menschen in ein Modell überführt und auf einen Avatar übertragen werden?
- Welche Verletzungen treten hauptsächlich bei Katastrophen auf und welche Auswirkungen haben diese auf das Vitalmodell?
- Welche Erste-Hilfe-Maßnahmen werden in einer Katastrophe durchgeführt und wie können diese in der virtuellen Realität dargestellt werden?

Die Werte des Vitalsystems sollen als Identifikator für Rückschlüsse und Erste-Hilfe-Maßnahmen dienen. Andere Faktoren, wie beispielsweise Krankheiten, die das Vitalsystem beeinflussen, sollen vernachlässigt werden. Die Faktoren können innerhalb der Katastrophe nur von Ärzten identifiziert und behandelt werden. Somit stellen sie für die Ersthelfer, die in diesem Fall die Einsatzkräfte sind, keinen weiteren Nutzen dar. Zusätzlich wird bei der Anwendung des Rettungs-Algorithmus die Kategorisierung aufgrund der Vitalwerte vorgenommen (vgl. Abschnitt 3.1.5). Es soll daher ein Modell entwickelt werden, das abhängig von entsprechenden Eingabeparametern verschiedene Verletzungsmuster darstellen kann. Das Modell des Vitalsystems soll kein vollständig medizinisch korrektes Abbild sein. Vielmehr sollen die identifizierten Verletzungen und Symptome dargestellt werden. Die Symptome der Verletzungen können dabei die Werte des Vitalsystems beeinflussen.

Für die Darstellung der Beteiligten einer Katastrophe innerhalb der Simulation können Avatare eingesetzt werden. Anhand der medizinischen Fragestellungen ergeben sich auch technische Fragestellungen.

- Wie können das Vitalsystem und die identifizierten Verletzungen in einer Simulation dargestellt werden?
- Gibt es einen effektiven und kosteneffizienten Prozess zur Generierung von Avataren (von Einsatzkräften, Opfern/Verletzten sowie Zeugen und Schaulustigen)?
- Wie können Avatare interagieren, um die verschiedenen Einheiten darzustellen?

- Können neue didaktische Konzepte mit Serious Games die klassische Ausbildung von Einsatzkräften und die örtliche Gefahrenabwehr ergänzen bzw. verbessern?

Aufgrund des Projektes RMS-Fahrradwelt<sup>17</sup> wurde am Fachgebiet Technische Informatik bereits ein spezieller Workflow zur Erstellung von Avataren erstellt.<sup>18</sup> Dieser dient vor allem für Simulationen, in denen ein Eingreifen des Nutzers nicht notwendig ist. Es kann per Skriptsprache eine Geschichte erstellt und abgespielt werden (vgl. Abbildung 1). Die Stärke dieser Umgebung sind vor allem die Steuerung der Animation und die Sprache der Avatare. Nachteilig ist allerdings die fehlende Interaktionsmöglichkeit des Benutzers bzw. des Lernenden.

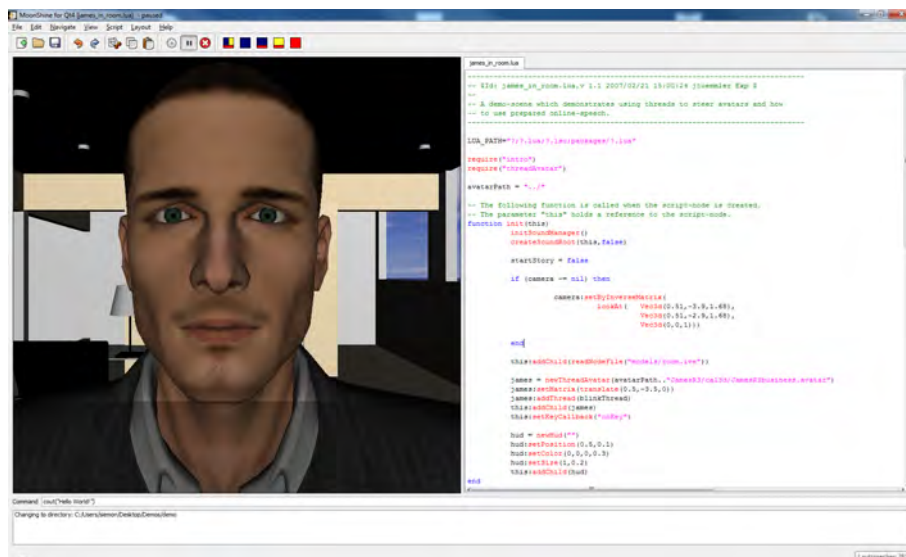


Abbildung 1: Screenshot der Simulationsumgebung Moonshine

Im Fokus dieser Arbeit steht die Entwicklung eines Katastrophen-Trainings-Systems, dass neben der Erstellung und Nutzung von verletzten Avataren in interaktiven Simulationsumgebungen auch Möglichkeiten schafft, Abläufe des Katastrophenschutzes abzubilden und virtuell zu trainieren.

Für verletzte Avatare wird ein Vitalmodell mit Vitalfunktionen entwickelt. Die Vitalfunktionen

- Respiratorisches System,

<sup>17</sup>Vgl. WLOKA: Zeitschrift für Verkehrserziehung, Bd. 03, 2005.

<sup>18</sup>Vgl. TÜMMER, JÖRN: Avatare in Echtzeitsimulationen, S. 81 ff.

- Herz und Kreislauf sowie
- Bewusstsein

werden durch geeignete Vitalparameter repräsentiert, da diese im Fall einer Verletzung zur Beurteilung des Patienten herangezogen werden. Zur Beurteilung des Verletzten werden die Vitalparameter

- Atmungsfrequenz,
- Temperatur,
- Puls und
- Blutdruck

dargestellt und stehen für den Lernenden abrufbereit. Die Abhängigkeiten und Beeinflussung der Vitalzeichen untereinander werden für eine korrekte Beurteilung der Verletzten identifiziert. Bei dem Modell wird von gesunden Menschen ausgegangen, die keine Vorerkrankungen aufweisen. Erkrankungen sind für die Behandlung der Patienten durch Ärzte natürlich wichtig, allerdings wird bei den Triage-Vorgängen zunächst eine Kategorisierung vorgenommen, um möglichst viele Verletzte zu retten.

Die einzelne Werte der Vitalparameter sind anhand eines Interface beeinflussbar. Beeinflussbar bedeutet hier, dass sich die Vitalwerte über die Zeit verändern. Die Veränderung ist dabei abhängig von der/n jeweiligen Verletzung/en der Avatare, die ein Benutzer bzw. Lehrer einstellen und vorgeben kann.

Neben der Erstellung der verletzten Avatare ist ein weiteres Ziel, einen effektiven Workflow zur Generierung von Fach-Avataren als Einsatzkräfte zu erstellen. Diese werden der Realität nachempfunden und sind durch die Lernenden steuerbar. Der Lernende kann durch seinen Stellvertreter die spezifischen Gegenstände der Organisationen benutzen und seine Aufgaben in der virtuellen Realität durchführen.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Im Anschluss an die zuvor vorgestellte Motivation werden im Kapitel 2 medizinische Grundbegriffe und Grundlagen der Computergrafik aufgeführt. Kapitel 3,

*Stand der Technik*, zeigt aktuelle Forschungen und Produkte sowie Ausbildung von Einsatzkräften auf.

Kapitel 4 stellt die Planung für das Katastrophen-Trainings-System vor. Kapitel 5, *Konzept des Katastrophen-Trainings-Systems*, zeigt die in der Planung vorgestellten Aspekte in einem Konzept. Die Umsetzung des Vitalmodells und Identifizierung der notwendigen Parameter für Verletzungen und Erste-Hilfe-Maßnahmen wird in Kapitel 6 aufgeführt.

In Kapitel 7 wird ein Prozess aufgezeigt, durch welchen die drei beteiligten Gruppen einer Katastrophe (Opfer bzw. Verletzte, Schaulustige und Einsatzkräfte) erstellt werden können. Kapitel 8 stellt die visuelle und akustische Darstellung von Vitalparametern, Verletzungen und Erste-Hilfe-Maßnahmen vor. Die Umsetzung des Vitalmodells wird in Kapitel 9 vorgestellt. Die Erstellung virtueller Städte auf Basis von georeferenzierten Daten und daraus abgeleitete Arbeitsprozesse beschreibt das Kapitel 10. Die Implementierung der Interaktion in der virtuellen Realität ist in Kapitel 11 aufgeführt. Das Kapitel 12 zeigt einige Anwendungsbeispiele des Katastrophen-Trainings-Systems.

Zum Abschluss findet sich in Kapitel 13 eine Zusammenfassung der Arbeit sowie ein Ausblick über weitere Optionen im Bereich Katastrophensimulationen zu finden.





## 2 Konzeptionelle und begriffliche Grundlagen

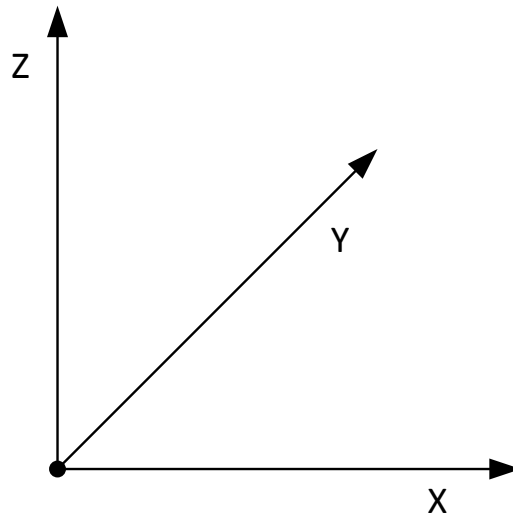
Dieses Kapitel beschreibt zunächst wichtige konzeptionelle und begriffliche Grundlagen, die zum Verständnis der vorliegenden Arbeit benötigt werden. Zunächst werden einige Begriffe sowie Konzepte aus der Computergrafik vorgestellt. Des Weiteren werden medizinische Grundlagen zum Thema Vitalfunktionen dargestellt. Abschließend werden die verschiedenen Arten von Katastrophen aufgeführt.

### 2.1 Grundlagen und Definitionen in der Computergrafik

Der folgende Abschnitt beschreibt zum Verständnis der Arbeit Begriffe sowie Grundlagen der 3D-Computergrafik. Es werden zusätzlich wichtige Basis-Techniken zur Erstellung und Nutzung von Avataren kurz erläutert.

#### 2.1.1 Dreidimensionale Strukturen

Die Grundlage zur Darstellung von Geometrien ist ein Bezug von Koordinaten und Koordinatensystemen. Die Darstellung wird standardmäßig durch ein Weltkoordinatensystem erzielt (vgl. Abbildung 2). Dieses Weltkoordinatensystem beinhaltet den Ursprung, der für die Koordinaten der Geometrie herangezogen wird. Zur Beschreibung der Koordinaten werden dreidimensionale affine Transformationen eingesetzt. Diese können eine Rotation, Skalierung, Scherung und/oder Translation beinhalten und werden üblicherweise kombiniert durch eine 4x4-Matrix ( $M$ ) dargestellt. Gleichung 2.1 stellt exemplarisch eine 4x4-Einheitsmatrix dar. Die vorgestellten Operationen können in einer Matrix zusammengefasst werden. Durch Multiplikatio-



**Abbildung 2:** Darstellung eines dreidimensionalen Koordinatensystems als Rechtssystem

nen können eine beliebige Menge an Rotationen, Skalierungen und Verschiebungen miteinander verknüpft werden.<sup>19</sup>

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

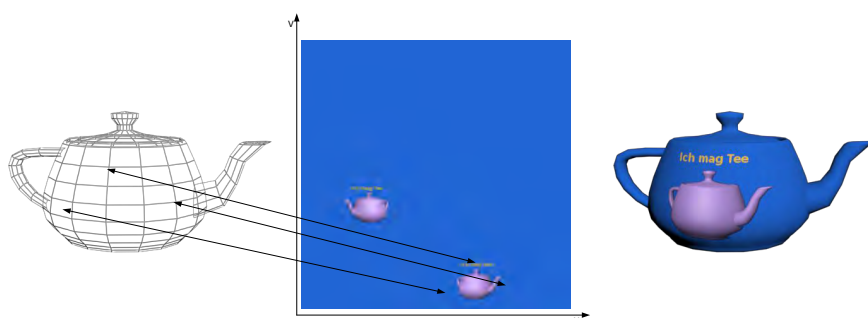
### 2.1.2 3D-Modelle

Eine der weitverbreitetsten und in dieser Arbeit verwendeten Methode zur Darstellung von Geometrie sind Polygon-Netzmodelle. Sie beschreiben die Oberfläche der Geometrie durch eine Menge miteinander verbundenen Polygone und generieren damit die Hülle des 3D-Modells (Mesh). Jedes Polygon ist dabei eine Kombination von mindestens drei Punkten (Vertices), die über Kanten (Edges) miteinander verbunden sind. Durch die Erhöhung der Polygone lassen sich annähernd beliebig komplexe Polygon-Netzmodelle erstellen.

Neben der Form ist auch die Optik der Hülle ausschlaggebend für die Wahrnehmung

---

<sup>19</sup>Vgl. WATT, ALAN: 3D-Computergrafik. 3. Auflage. München: Pearson Studium, 2001, i - Informatik, S. 16 ff.



**Abbildung 3:** Texture Mapping eines Teapots

des Objektes. Ein Verfahren zur Veränderung des Aussehens der Hülle ist das *Texture Mapping*. Bei diesem Verfahren wird jedem dreidimensionalen Punkt des Objektes eine sog. UV-Koordinate der Textur im UV-Raum zugewiesen. Ein Beispiel für das Texture Mapping ist in Abbildung 3 aufgeführt. Zur Erstellung von Polygon-Netzmodellen werden 3D-Modellierungstools eingesetzt. Typische Vertreter sind hier Autodesk Maya<sup>20</sup>, Autodesk 3D Studio Max<sup>21</sup> oder Blender<sup>22</sup>. Entsprechende Import- und Exporter ermöglichen eine Interoperabilität mit anderen Programmen.

Komplexe Polygon-Netzmodelle führen allerdings auch zu einem größeren Aufwand bei der Berechnung der Darstellung des Objektes. Es sollte daher immer darauf geachtet werden, wie viel Komplexität das Modell für die Darstellung benötigt. Gleiches gilt für komplexere Texturen. Je höher die Auflösung der Textur, desto länger dauert die Berechnung des Texture Mappings.

### 2.1.3 Animation von 3D-Modellen

Die Animation von 3D-Modellen kann in der Computergrafik auf unterschiedliche Arten erfolgen. Bekannte Verfahren zur Animation sind Keyframing, Motioncapturing oder prozedurale Animationen. Neben diesen Verfahren existieren noch weitere, auf die hier aus Gründen der Relevanz nicht eingegangen wird.

Animationsverfahren können miteinander verknüpft werden, so dass die Vorteile

---

<sup>20</sup>AUTODESK INC.: Autodesk Maya. [⟨URL: http://www.autodesk.de/maya⟩](http://www.autodesk.de/maya) – Zugriff am 01.06.2011.

<sup>21</sup>AUTODESK INC.: Autodesk 3ds Max-Produkte. [⟨URL: http://www.autodesk.de/3dsmax⟩](http://www.autodesk.de/3dsmax) – Zugriff am 01.06.2011.

<sup>22</sup>BLENDER FOUNDATION: Features & Gallery. [⟨URL: http://www.blender.org/features-gallery/⟩](http://www.blender.org/features-gallery/) – Zugriff am 01.06.2011.

der jeweiligen Verfahren nutzbar sind. Im Folgenden werden die für diese Arbeit relevanten Verfahren vorgestellt.

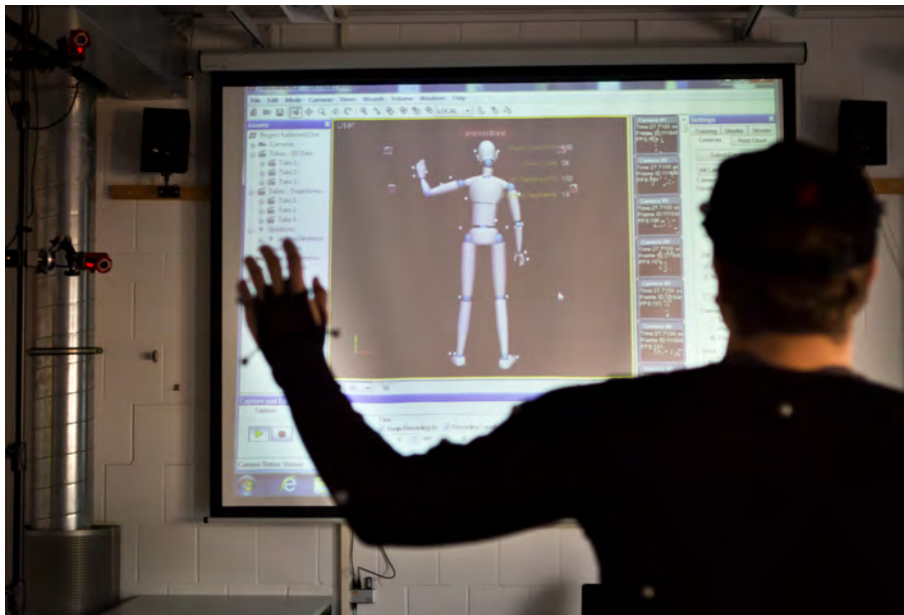
### **Keyframing und Interpolation**

Die Technik des Animierens mit Keyframes (Schlüsselbilder) basiert auf Techniken der Filmindustrie. Für Zeichentrickfilme erstellten Animatoren die Keyframes in bestimmten Zeit-Intervallen. Die Zeichnung der Bilder zwischen diesen Intervallen wurden von *Zwischenarbeitern* durchgeführt. In der Computergrafik wird dieser Prozess in einer ähnlichen Form angewandt. Die Keyframes enthalten die räumliche Anordnung der 3D-Objekte zu einer bestimmten Zeit, die frei gewählt werden kann. Im Gegensatz zu Zeichentrickfilmen werden die Zwischensequenzen nicht per Hand erstellt, sondern der Computer interpoliert zwischen den Keyframes. Dieses kann auf verschiedene Arten durchgeführt werden, beispielsweise linear oder anhand von Kurven (B-Splines). Beim Keyframing können alle Operationen (Translation, Rotation und Skalierung) auf das 3D-Modell angewandt und damit verändert werden. Der Aufwand, um natürliche Bewegungen zu erzeugen, kann je nach Art des 3D-Modells sehr komplex werden.

### **Motioncapture**

Zur Animation von hierarchisch verknüpften Strukturen bietet sich das Motioncapture-Verfahren an. Eine hierarchisch verknüpfte Struktur ist eine Verknüpfung von 3D-Objekten, die mit Gelenken untereinander verbunden sind. Bei Avataren wird beispielsweise die Struktur durch ein vereinfachtes Skelett beschrieben.

Die Technik des Motioncaptures ist es nun, die Animation der hierarchisch verknüpften Struktur durch einen geeigneten realen Repräsentanten durchführen zu lassen. Im Falle von Avataren bieten sich Menschen an, die die Bewegung mit einem Motioncapture-System aufzeichnen und mit dem Avatar verknüpfen. Derzeit existieren verschiedene Aufzeichnungsverfahren für das Motioncapture. Eine Variante ist ein optisches System, welches Marker mit Kameras tracked und in die 3D-Welt überträgt. Abbildung 4 zeigt ein solches optisches System. Die Marker werden entsprechend zwischen den Gelenken angebracht, um so die Bewegung der einzelnen Knochen des Skeletts aufzuzeichnen. Der Vorteil des Motioncapture-Verfahrens ist primär die Natürlichkeit der Bewegung, da sie durch einen Repräsentanten der realen Welt



**Abbildung 4:** Optisches Motioncapture System

durchgeführt wird. Auch kann eine schnelle Erstellung von Animationen durch dieses Verfahren erzielt werden.

### **Prozedurale Animation**

Im Gegensatz zu den vorgestellten Techniken wird bei der prozeduralen Animation keine Animation vorab erstellt. Vielmehr werden Regeln definiert, die die 3D-Objekte entsprechend beeinflussen. Exemplarisch können hier Partikel-Animationen aufgeführt werden, bei denen Regeln über die Lebensdauer, die Farbe oder die Position bei der Erzeugung der Partikel festgelegt werden.

Eine weitere Anwendung der prozeduralen Animation ist das Konzept der Inversen Kinematik (IK). Das aus der Robotik bekannte Verfahren kann die Positionen und Rotationen aller Gelenke einer hierarchischen Struktur (Kinematische Kette) aufgrund der Pose (Position und Orientierung) des Endeffektors (Endelement der Kette) berechnen. Zur Realisierung der Inversen Kinematik existieren verschiedene Methoden und Algorithmen (vgl. WATT<sup>23</sup> oder CRAIG<sup>24</sup>).

---

<sup>23</sup>WATT: 3D-Computergrafik, S. 542 ff.

<sup>24</sup>CRAIG, JOHN J.: Introduction to robotics: mechanics and control. 3. Auflage. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2005, S. 101 ff.

Die Umsetzung der prozeduralen Animation kann in der Computergrafik über einen Programmcode geschehen. Dafür werden durch geeignete Grafik-Bibliotheken Schnittstellen zur Verfügung gestellt, um die Animation zu steuern.

### **Animation von Polygon-Netzmodellen**

Neben den Animationsarten können auch unterschiedliche Techniken zur Animation angewandt werden. Zwei gängige Techniken in der Computergrafik sind Skeletal- und Morph-target-Animation.

#### **Skeletal-Animation**

Die Skeletal-Animation, auch Bone-based-Animation genannt, wird für die Animation von hierarchisch verknüpften Strukturen genutzt. Bei dieser Animation werden Vertices des Polygon-Netzes sog. Bones (Knochen) zugeordnet. Diese Bones beeinflussen die Vertices mit einem bestimmten prozentualen Wert. Der Knochen kann durch beliebige Transformationen (Translation, Rotation und/oder Skalierung) im 3D-Raum verändert werden. Um beispielsweise bei Avataren natürlich aussehende Bewegungen zu erzeugen, beschränkt man sich bei der Animation auf die Rotation der einzelnen Knochen. Diese entsprechen dann den menschlichen Gelenken. Die menschlichen Gelenke sind dabei allerdings auf Freiheitsgrade beschränkt. Das Kniegelenk hat beispielsweise zwei Drehbewegungsfreiheitsgrade: Beugung und Streckung. Diese Freiheitsgrade sollten auch bei der Animation beachtet und entsprechend berücksichtigt werden.

#### **Morph-target-Animation**

Eine weitere Technik zur Animation von 3D-Objekten ist die Morph-target-Animation, auch Vertex-based-Animation genannt. Bei dieser Technik werden die einzelnen Vertices des 3D-Objektes im Raum bewegt, d. h. jeder Vertex des Polygon-Netzes hat zur Zeit  $t$  eine Transformation. Ein Nachteil dieser Animationstechnik ist die Komplexität, da jeder Vertex des Polygon-Netzes separat animiert werden muss.

Eines der Anwendungsgebiete dieser Animationstechnik ist die Animation von Gesichtern. Dabei werden verschiedene Targets (Ziele) erstellt und bei der Animation zwischen diesen interpoliert. Die Ziele können beispielsweise die Darstellung von Schmerz, Lachen oder einzelne Viseme sein. Zur Darstellung der Ziele kann zwar auch

eine Skeletal-Animation eingesetzt werden, jedoch ist die Erstellung sehr aufwendig, weshalb oft auf die Morph-target-Animation zurückgegriffen wird.

### 2.1.4 Virtueller Mensch

In der Literatur existieren verschiedene Begriffe zur Beschreibung eines digitalen bzw. virtuellen Menschen. Im Folgenden werden die verschiedenen Definitionen kurz erläutert, da je nach Anwendung verschiedene Begriffe verwendet werden.

#### Digital Human/Virtual Human

Diese Begriffe werden als Oberbegriff für alle durch eine Computersimulation dargestellten Menschen genutzt, beispielsweise in Computerspielen, grafischen Simulationen oder Filmen.<sup>25</sup>

#### Digital Character/Virtual Character

In Computerspielen oder -simulationen werden Figuren i. d. R. Characters genannt. Diese können unterschiedliche Ausprägungen haben, beispielsweise Menschen, Monster oder Tiere. Sie werden in die zwei Kategorien Playing Characters (*PCs*) und Non Playing Characters (*NPCs*) unterteilt.<sup>26</sup> Playing Characters sind ein Abbild der Hauptfigur in der Simulation und können aktiv durch den Nutzer bzw. Spieler gesteuert werden. Non Playing Characters sind autonome Figuren, die durch eine künstliche Intelligenz gesteuert werden.

#### Avatar

Ursprünglich stammt das Wort Avatar aus dem Sanskrit und bezeichnet dort einen hinduistischen Gott, der sich auf der Erde bewegt.<sup>27</sup> Im Zusammenhang mit Computern wird der Begriff „für grafisch, teils dreidimensional realisierte virtuelle Re-

---

<sup>25</sup>IERONUTTI, L./CHITTARO, L.: A virtual human architecture that integrates kinematic, physical and behavioral aspects to control H-Anim characters. In: Proceedings of the tenth international conference on 3D Web technology. Bangor, United Kingdom, 2005.

<sup>26</sup>JU, E./WAGNER, C.: Personal computer adventure games: their structure, principles, and applicability for training. In: ACM SIGMIS Database, 28 1997 Nr. 2.

<sup>27</sup>Vgl. BACK, A. et al.: Lexikon Der Wirtschaftsinformatik. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2001, S. 60.



präsentationen von realen Personen oder Figuren“<sup>28</sup> verwendet. In der virtuellen Realität fungieren sie als „sichtbare und teils auch bewegliche und manipulierbare Stellvertreter eines Benutzers.“<sup>29</sup>

Soweit möglich wird der Begriff Avatar zur Beschreibung von virtuellen Menschen in dieser Arbeit verwendet.

### 2.1.5 Aufbau eines Avatars

Der Aufbau eines künstlichen Menschen bzw. eines Avatars geschieht in der Computergrafik grundsätzlich aus den Komponenten

- Hülle bzw. Körper,
- Skelett,
- Skinning und
- Textur(en)

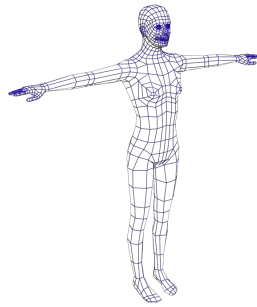
Die Hülle beschreibt die Geometrie des Avatars. Diese kann je nach Auflösung des Polygon-Netzes einfach bis komplex bzw. detailliert sein. Auch innerhalb des Polygon-Netzes werden unterschiedliche Auflösungen abhängig des Körperteils eingesetzt. Ein Kopf benötigt aufgrund der vielen Rundungen mehr Polygone als beispielsweise der Bauch, obwohl die Fläche des Kopfes geringer ist. Auch an den Gelenken müssen für eine realistische Animation mehr Polygone eingesetzt werden. Abbildung 5 zeigt exemplarisch ein Polygon-Netz mit den verschiedenen Auflösungen. Das Skelett eines Avatars besteht wie bei einem realen Menschen aus einzelnen Knochen. Allerdings ist die Anzahl der Knochen wesentlich geringer. Sind in einem menschlichen Skelett ca. 206 Knochen vorhanden, kann das Skelett eines Avatars aus nur ca. 20 Knochen bestehen. Die Anzahl der Knochen ist hier abhängig von der Anwendung. Im Falle von Echtzeitanwendungen oder Games sollte sich auf ein Skelett mit wenigen Knochen beschränkt werden, um eine höhere Performance der Anwendung zu erreichen. Der Prozess zur Erstellung eines Skeletts für einen Avatar wird *Rigging* genannt.

Die Zuweisung der einzelnen Vertices der Hülle des Avatars zu den jeweiligen Knochen des Skeletts ist der Arbeitsschritt *Skinning*. Die Zuordnung ist prozentual

---

<sup>28</sup>BACK et al.: Lexikon Der Wirtschaftsinformatik, S. 60.

<sup>29</sup>BACK et al.: Lexikon Der Wirtschaftsinformatik, S. 60.



**Abbildung 5:** Exemplarisches Polygon-Netz eines Avatars

und beträgt in Summe 100 % für jeden Vertex des Polygon-Netzes der Hülle. Auch hier kann die Anzahl der Knochen, die einen Vertex beeinflussen, variieren.

Die Textur bzw. Texturen repräsentieren die Haut des Avatars. Ist der Avatar bekleidet, wird auch für die Darstellung der Kleidung eine Textur eingesetzt.

## 2.2 Medizinische Grundlagen

Zum Verständnis des in dieser Arbeit entwickelten Vitalmodells werden im Folgenden die drei menschlichen Vitalfunktionen, deren wichtigsten Aufgaben und Funktionsweisen sowie einige Vitalparameter dargestellt und kurz erläutert.

### 2.2.1 Vitalfunktionen

Unter dem Begriff der Vitalfunktionen werden in der Medizin die Atmung, der Kreislauf und das Bewusstsein verstanden.<sup>30</sup> Die Atmung wird auch das respiratorische System genannt. Um die Vitalfunktionen näher zu beschreiben, werden die Vitalparameter herangezogen. Die vier primären Vitalparameter sind dabei Temperatur<sup>31</sup>, Atemfrequenz, Blutdruck und Puls.<sup>32</sup> Sollten Störungen der Vitalfunktionen

---

<sup>30</sup>Vgl. GORGASS, B. et al.: Rettungsassistent und Rettungssanitäter. 7. Auflage. Berlin [u.a.]: Springer, 2005; RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport: ein Lehrbuch (nicht nur) für angehende Rettungssanitäterinnen und Rettungssanitäter. 5. Auflage. Goslar: DRK-Landesverband Niedersachsen, Rettungsschule Niedersachsen, 2001.

<sup>31</sup>Vgl. SMITH, JOYCE/ROBERTS, RACHEL: Vital Signs for Nurses: An Introduction to Clinical Observations. Oxford: Wiley, 2011, S. 82.

<sup>32</sup>Vgl. SCHOTTKE, DAVID/AMERICAN ACADEMY OF ORTHOPAEDIC SURGEONS: Emergency Medical Responder. 5. Auflage. Jones & Bartlett Learning, 2010, S. 79.

vorliegen, können die Vitalzeichen genutzt werden, um die Störung zu bestimmen und entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten.

### 2.2.1.1 Respiratorisches System

Die RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN definiert die Atmung wie folgt:

„Die Atmung [...] hat die Aufgabe, den Sauerstoff aus der Umgebungsluft zum Weitertransport bis an das Blut heranzuführen und das bei den Stoffwechselvorgängen im Körper entstandene Kohlendioxid zu entsorgen.“<sup>33</sup>

Die Atmungsorgane werden in das luftleitende und das gasaustauschende System unterteilt. Das luftleitende System bezieht sich auf den Luftweg vom Naseneingang bis in die Bronchiolen. An den verzweigten Bronchiolen schließen sich die Lungenbläschen (Alveolen) an. Die Alveolen bilden das Lungengewebe, das als das gasaustauschende System bezeichnet wird.<sup>34</sup>

Standardmäßig setzt sich die Atemluft aus ca. 78 % Stickstoff, ca. 21 % Sauerstoff, ca. 0,04 % Kohlenstoffdioxid und ca. 1 % Edelgasen zusammen. Der Prozess des Atmens ändert die Zusammensetzung der eingeatmeten Atemluft. Tabelle 1 zeigt den Transferprozess der Ein- und Ausatemluft.

**Tabelle 1:** Zusammensetzung der Ein- und Ausatemluft nach KEMPER<sup>35</sup>

Einatemluft	Luftbestandteil	Ausatemluft
78 %	Stickstoff	79 %
21 %	Sauerstoff	16 %
0,04 %	Kohlenstoffdioxid	4 %
1 %	Edelgase	1 %

### 2.2.1.2 Herz und Kreislauf

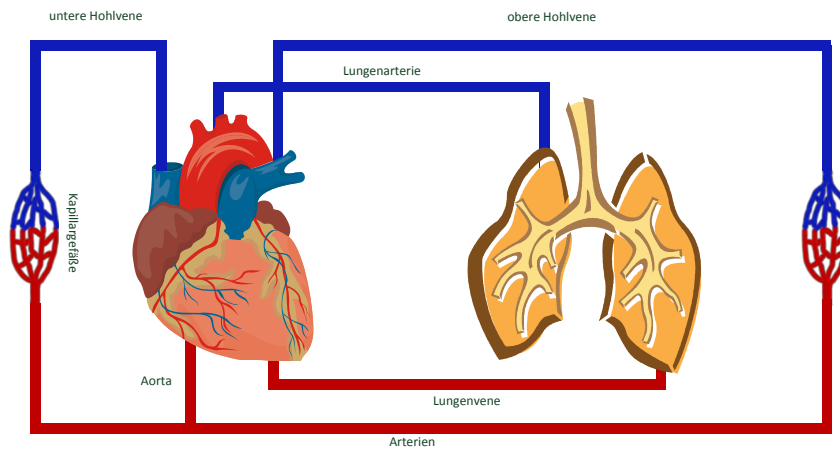
Das Herz ist ein Hohlmuskel mit der Aufgabe, das Blut aus den Herzhöhlen auszuwerfen. Die Hauptaufgabe des Herzens ist, den Blutkreislauf aufrechtzuerhalten

---

<sup>33</sup>RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 32.

<sup>34</sup>Vgl. RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 32.

<sup>35</sup>KEMPER, H.: Atemschutzgeräteträger. 4. Auflage. Landsberg/Lech: ecomed Sicherheit, 2010, Fachwissen Feuerwehr, S. 32.



**Abbildung 6:** Vereinfachte Darstellung des Blutkreislaufs in Anlehnung an RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN<sup>37</sup>

und ihn an die jeweiligen Bedürfnisse anzupassen. Dies geschieht mit der Funktion einer Druck- und Saugpumpe. Das Herz hat etwa die Faustgröße des betroffenen Menschen, die Form eines Kegels und sitzt schräg im Brustkorb.<sup>36</sup>

Der Blutkreislauf ist ein Transport-, Regulations- und Schutzsystem, das für die Aufrechterhaltung der biologischen Funktionen des Menschen zuständig ist. Der Blutkreislauf besteht aus dem Lungengefäßsystem (Lungenkreislauf) und dem Körpergefäßsystem (Körperkreislauf). Das Lungengefäßsystem hat die Aufgabe der Sauerstoffaufnahme und die Kohlendioxidabgabe in der Lunge. Das Körpergefäßsystem versorgt die menschlichen Zellen mit Sauerstoff und Nährstoffen. Des Weiteren entsorgt das Körpergefäßsystem Stoffwechselprodukte, wie Kohlendioxid. Beide Systeme sind wie in einer Reihenschaltung aufgebaut (vgl. Abbildung 6).

<sup>36</sup>Vgl. RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 104.

<sup>37</sup>RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 116.

### 2.2.1.3 Bewusstsein

Eine einheitliche Definition für das Bewusstsein gibt es nicht. REUTER definiert das Bewusstsein als die geistige Klarheit bzw. Besinnung.<sup>38</sup> MADEA/BRINKMANN definieren Bewusstsein wie folgt:

„Bewusstsein bezeichnet einen Zustand geistiger Klarheit, Helligkeit und Beweglichkeit, und beinhaltet eine definierte Rangordnung inneren Erlebens bei Intaktheit der wesentlichen psychischen Funktionen.“<sup>39</sup>

Je nach medizinischem Anwendungsgebiet existieren noch weitere Definitionen.

Der Gegensatz des intakten Bewusstseins ist die Bewusstlosigkeit. Ist ein Mensch im Zustand der Bewusstlosigkeit, ist er gegenüber seiner Umwelt ungeschützt. Er kann folglich nicht auf Einflüsse der Umwelt angemessen reagieren.<sup>40</sup>

„Je tiefer die Bewusstlosigkeit, desto bedrohlicher ist der Zustand des Patienten, da immer mit einem Ausfall der Schutzreflexe sowie einem Ausfall auch der übrigen Vitalfunktionen zu rechnen ist.“<sup>41</sup>

### 2.2.2 Vitalparameter

Die Vitalparameter werden herangezogen, um die Vitalfunktionen zu beschreiben. Anhand dieser werden Schlüsse über den Zustand der Vitalfunktionen und des Menschen gezogen. Die vier primären Vitalparameter Puls, Körpertemperatur, Blutdruck und Atemfrequenz werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

#### 2.2.2.1 Puls

„Puls bedeutet das Anstoßen des rhythmisch vom Herzen ausgeworfenen Blutes an die Gefäßwände, in erster Linie der Arterien.“<sup>42</sup>

---

<sup>38</sup>Vgl. REUTER, PETER: Springer Lexikon Medizin. Berlin [u.a.]: Springer, 2004, Springer-Wörterbuch, S. 258.

<sup>39</sup>MADEA, BURKHARD/BRINKMANN, BERND: Handbuch gerichtliche Medizin. Berlin: Springer, 2003, Handbuch gerichtliche Medizin Band 2, S. 750.

<sup>40</sup>Vgl. RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 232.

<sup>41</sup>RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 232.

<sup>42</sup>RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 128.

Das Blut in den Arterien dehnt die Gefäßwände aus. In der Arterie entsteht durch das ständige Pumpen des Herzens eine wellenförmige Bewegung, die als Pulswelle oder Puls bezeichnet wird. Der Puls ist abhängig von Herzleistung, vorhandener Blutmenge sowie Elastizität und Spannungszustand der Gefäßwände. Zur Beurteilung des Pulses werden die folgenden drei Kriterien herangezogen.

**Pulsfrequenz** Sie gibt die Häufigkeit der Pulswellen pro Minute an. Die Frequenz entspricht normalerweise die der Herzfrequenz.

**Pulsrhythmus** Der Pulsrhythmus beschreibt die Regelmäßigkeit der Pulswellen und somit des Herzschlages. Gesunde Menschen haben einen regelmäßigen Rhythmus.

**Pulsqualität** Die Pulsqualität gibt die Stärke der Pulswelle an. Sie kann Aussage über Herzschlagvolumen und die Füllung der Gefäße machen.

### 2.2.2.2 Körpertemperatur

Der Mensch versucht durch Thermoregulierung, die Temperatur des Körpers konstant zu halten. Er gehört daher zur Gruppe der Thermoregulatoren<sup>43</sup>. Die Wärmebildung bzw. -erhaltung wird durch eine Energieumwandlung durchgeführt. Die Temperatur des Körpers ist nicht an allen Stellen gleich. Man unterscheidet deshalb Körperkern und Körperschale.<sup>44</sup> Auch das Temperaturumfeld hat Einfluss auf die Temperatur im Körperkern und in der Körperschale. Abbildung 7 zeigt beispielhaft die Fläche der Körperkerntemperatur in einer 20 °C und einer 35 °C Umgebung. Eine zu geringe Wärmeproduktion führt zu einer Hypothermie und im schlimmsten Fall zum Kältetod. Eine zu hohe Körpertemperatur erzeugt eine Hyperthermie und diese kann schließlich zum Hitzetod führen. Die normale Körpertemperatur eines gesunden Menschen liegt in einem Bereich von 36,0 °C bis 38,0 °C.

### 2.2.2.3 Blutdruck

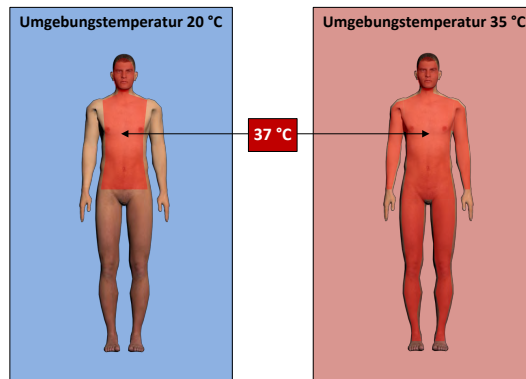
Unter dem Blutdruck wird der systolische und diastolische arterielle Blutdruck im Körperkreislauf verstanden. Systole bezeichnet die Kontraktion der Herzwand und

---

<sup>43</sup>auch homöotherm = gleichwarme Tiere

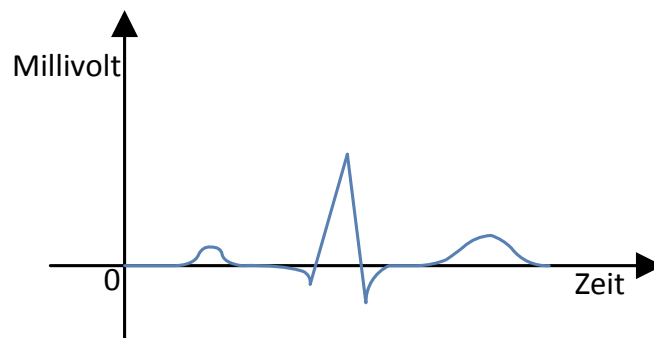
<sup>44</sup>Vgl. SCHMIDT, ROBERT F.: Physiologie Kompakt. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2001, Springer-Lehrbuch, S. 256.

<sup>45</sup>SCHMIDT: Physiologie Kompakt, S. 257



**Abbildung 7:** Vereinfachte Darstellung der Körperkerntemperatur in unterschiedlichen Umgebungen in Anlehnung an SCHMIDT<sup>45</sup>

Diastole bezeichnet die Erschlaffung des Herzens. Der systolische Wert der Blutdrucks gibt Auskunft über die Herzleistung. Der diastolische Wert gibt Auskunft über den Zustand des arteriellen Systems. Zu hohe bzw. zu niedrige Blutdruckwerte werden als Hypertonie bzw. Hypotonie bezeichnet. Durch die Kontraktion des Herzens treten elektrische Potenzialschwankungen auf, die durch einen Elektrokardiograph (EKG) dargestellt werden können. Ein typisches EKG kann in Abbildung 8 gesehen werden.



**Abbildung 8:** Vereinfachte Darstellung eines EKG in Anlehnung an RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN<sup>46</sup>

### 2.2.2.4 Atemfrequenz

Zur Regulation des Sauerstoffbedarfs atmet der Mensch Atemluft ein. Die Atemluft enthält ca. 21 % Sauerstoff (vgl. Tabelle 1) und wird durch regelmäßige Atemzüge

aufgenommen, verarbeitet und wieder ausgeatmet. Die Anzahl an Atemzügen pro Minute wird als Atemfrequenz bezeichnet.

### 2.2.2.5 Blut

Für den Transport von Sauerstoff und Kohlendioxid im Herz-Kreislauf-Systems ist das Blut zuständig. Weitere Aufgaben des Bluts sind Pufferfunktionen (Eiweiße, Kohlensäurekarbonat), Abwehrfunktionen und Blutstillung sowie Gerinnung.<sup>47</sup> Das Blut besteht aus roten Blutkörperchen (Erythrozyten), weißen Blutkörperchen (Leukozyten) und Blutplättchen (Thrombozyten). Sie machen ca. 45 % des Gesamtblutvolumens aus. Die übrigen 55 % des Blutvolumens bestehen aus dem flüssigen Blutplasma.<sup>48</sup> Das Blut macht ca. 6–8 % des Körpergewichts aus.<sup>49</sup>

## 2.3 Katastrophen und Katastrophenschutz

Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt, können Katastrophen bzw. Großschadenslagen durch verschiedene Faktoren ausgelöst werden und haben oft gravierende Veränderungen zur Folge.<sup>50</sup> Das 1937 abgestürzte Luftschiff Hindenburg, löste eine Diskussion über die Verwendung von Luftschiffen im Passagierverkehr aus. Das Resultat war, dass Luftschiffe nicht mehr für den Passagiertransport eingesetzt wurden. Exemplarisch kann auch der Absturz der Concorde im Jahre 2000 genannt werden, welcher zur Stilllegung des Überschallflugzeugs führte.

Ob eine Katastrophe vorliegt, entscheidet rechtlich gesehen die Behörde, in dem sie den Katastrophenfall auslöst und es daher zur Anwendung des Katastrophenschutzgesetzes des jeweiligen Landes kommt.<sup>51</sup>

Nicht jeder Unfall mit vielen Verletzten wird als Katastrophe oder Großschadensfall angesehen. Vielmehr wird unterschieden, in wieweit das Ereignis bewältigt werden

---

<sup>46</sup>RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 115

<sup>47</sup>Vgl. MAHLBERG, ROLF/GILLES, ANNETTE/LÄSCH, ANITA: Hämatologie: Theorie und Praxis für medizinische Assistenzberufe. 2. Auflage. Weinheim: Wiley-VCH, 2005, S. 5 f.

<sup>48</sup>Vgl. MAHLBERG/GILLES/LÄSCH: Hämatologie, S. 6.

<sup>49</sup>Vgl. LUXEM, J./RUNGGALDIER, K./KÜHN, D.: Rettungsdienst RS/RH. 2. Auflage. München: Elsevier, Urban & Fischer, 2010, S. 35.

<sup>50</sup>Vgl. JACHS, S.: Einführung in das Katastrophenmanagement. Hamburg: Tredition, 2011, S. 13ff.

<sup>51</sup>Vgl. BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ UND KATASTROPHENHILFE: Glossar: Katastrophenfall. (URL: [http://www.bbk.bund.de/DE/Servicefunktionen/Glossar/\\_function/glossar.html?lv2=1899384&lv3=1956356](http://www.bbk.bund.de/DE/Servicefunktionen/Glossar/_function/glossar.html?lv2=1899384&lv3=1956356)) – Zugriff am 28.08.2012.



kann. Das Ausmaß von Schadenslagen unterteilt VON HINTZENSTERN/ARENS in Notfall, Massenanfall von Verletzten (MANV), Großschadensfall und Katastrophe. In Tabelle 2 sind die wichtigsten Kriterien zur Unterteilung dargestellt.

**Tabelle 2:** Ausmaß von Schadenslagen nach VON HINTZENSTERN/ARENS<sup>52</sup>

	Notfall	MANV	Großschadensfall	Katastrophe
<b>Gefährdung / Schädigung</b>	einzelner Personen und/oder Sachgüter	zahlreicher Personen und/oder Sachgüter	zahlreicher Personen und Sachgüter	zahlreicher Menschen und Sachgüter, wesentlicher Lebensgrundlagen u. Versorgungsstrukturen größerer Bevölkerungskreise
<b>Begrenzung örtlich</b>	lokal	lokal	regional	regional oder überregional
<b>Begrenzung zeitlich</b>	kurzfristig	kurzfristig	mittelfristig	i. d. R. mittel- bis langfristig
<b>Bewältigung durch</b>	örtlich verfügbare sofort einsetzbare Einsatzkräfte	zusätzliche Ausschöpfung aller regional verfügbaren Einsatzkräfte	zusätzliche Ausschöpfung aller überregional verfügbaren Einsatzkräfte	zusätzlich überregionale Organisationen, Behörden und Stellen

Zur Abwehr und Bewältigung von Katastrophen dient der Katastrophenschutz. Diese Aufgaben werden von den Behörden selbst und/oder von öffentlichen und privaten Organisationen wahrgenommen. Jede Organisation hat dabei spezifische Aufgaben wie Führung, Brandschutz oder Bergung. Des Weiteren werden diese Organisationen in die örtliche Gefahrenabwehr eingebunden, um bei möglichen Katastrophenfällen gerüstet zu sein. Exemplarisch kann hier der Hochwasserschutz für die örtliche Gefahrenabwehr genannt werden. Im Falle eines Hochwassers mit großen Ausmaßen hat jede Organisation primäre Aufgaben wie zum Beispiel das Bauamt für das Bereitstellen des Sandes für Sandsäcke.

Damit die Organisationen ihren Beitrag zum Katastrophenschutz leisten können, müssen sie und ihre Mitglieder entsprechend ausgebildet und geschult werden.

<sup>52</sup>HINTZENSTERN, U. VON/ARENS, L.: Notarzt-Leitfaden. 5. Auflage. München [u.a.]: Elsevier, Urban & Fischer, 2007, S. 65.

## 3 Stand der Technik

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die grundsätzliche Ausbildung von Einsatzkräften sowie Forschungen und Produkte im Bereich Katastrophensimulationen. Zusätzlich werden verwandte Arbeiten untersucht und abschließend mögliche Potenziale aufgezeigt.

### 3.1 Aufgaben und Ausbildung von Einsatzkräften

Gerade in Katastrophensituationen sind gut ausgebildete Einsatzkräfte notwendig, um die Situation zu bewältigen. Spezielle Aufgaben haben hier Feuerwehr- und THW-Einsatzkräfte, da diese auch in gefährliche und schwer zugängliche Orte eindringen können bzw. müssen. Obwohl während Katastrophen auch Militär, Sanitätsdienste und andere private Organisationen eingesetzt werden, wird der Fokus auf die bereits erwähnten Organisationen Feuerwehr und THW gelegt.

Sanitätsdienste sind während eines Großschadensfalls primär zuständig für die Sicherstellung der Infrastruktur zur Behandlung der Patienten. Die Aufgabe des Rettungsdienstes ist zwar die Hilfe bei Notfällen, allerdings gelten während einer Katastrophe andere Strukturen. Die Rettungsdienste stabilisieren die Patienten vor Ort und transportieren sie anschließend in eine Klinik. Daraus resultiert eine wesentlich höhere Ausbildung der Rettungssanitäter und -assistenten mit mehr Aufgaben.<sup>53</sup> Diese Aufgaben sollen hier nicht im Fokus stehen, da in dieser Arbeit vorrangig Erste Hilfe und Triage bei Großschadenslagen betrachtet werden. Bei Naturkatastrophen oder besonders schweren Unglücksfällen können Bundesländer Streitkräfte anfordern. Diese unterstützen allerdings nur so lange, „bis zivile Einrichtungen und

---

<sup>53</sup>Vgl. DRK-LANDESVERBAND BADEN-WÜRTTEMBERG E.V. : Rettungsdienstliches Positionspapier. (URL: [http://www.drk-baden-wuerttemberg.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/2012-03-08\\_rd\\_positionspapier\\_drklvbw.pdf](http://www.drk-baden-wuerttemberg.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/2012-03-08_rd_positionspapier_drklvbw.pdf)) – Zugriff am 20.04.2012, S. 4.

Im Folgenden werden die Aufgaben und Strukturen von Feuerwehren sowie THW erläutert.

Die Aufgaben der Feuerwehr in Deutschland sind durch die Feuerwehrgesetze des jeweiligen Bundeslandes geregelt. Sie umfassen i. d. R. die Bekämpfung von Schadenfeuern (Bränden), das Retten von Menschen und Tieren aus lebensbedrohlichen Lagen und die Hilfeleistung bei öffentlichen Notständen. Abhängig vom jeweiligen Bundesland werden den Feuerwehren mehr oder weniger Aufgaben zugestanden.<sup>55</sup> Weitere Aufgaben der Feuerwehr können sein:

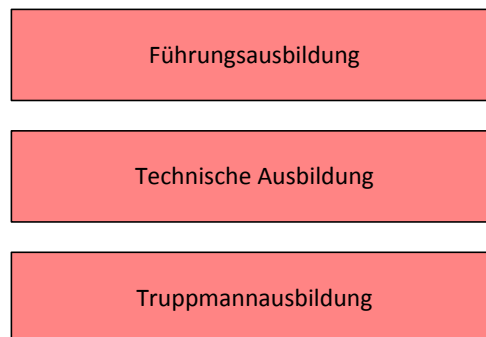
- Die Art der Feuerwehr wird durch die Gemeinde bzw. die Stadt festgelegt und muss dem örtlichen Risiko angemessen sein. In kleineren Städten und Gemeinden wird diese Aufgabe durch Freiwillige Feuerwehren gelöst. In größeren Städten (ab ca. 100.000 Einwohner) ist mit einer größeren Anzahl an Einsätzen zu rechnen, sodass dort hauptamtliche Berufsfeuerwehren eingerichtet sind.

Die Ausbildung der Freiwilligen Feuerwehren ist grundsätzlich durch die Feuerwehr-Dienstvorschrift 2 (FwDV 2) geregelt. Die Inhalte der Ausbildung sind funktionsbezogen und dienen insbesondere der

<sup>55</sup> REDAKTION DER FACHZEITSCHRIFT BRANDSCHUTZ / DEUTSCHE FEUERWEHR-ZEITUNG: Das Feuerwehr-Lehrbuch. 1. Auflage. Stuttgart: Kohlhammer, 2011.

- Rettung von Menschen und Tieren,
- Ersten Hilfe,
- Bekämpfung von Bränden,
- Bergung von Sachen,
- Leistung technischer Hilfe,
- Bekämpfung von Gefahren durch atomare, biologische und chemische Stoffe sowie der
- Durchführung des Brandsicherheitswachdienstes.<sup>56</sup>

Die Ausbildung ist in die drei Abschnitte *Truppmannausbildung*, *Technische Ausbildung* und *Führungsausbildung* untergliedert (vgl. Abbildung 9). Im Folgenden wird auf die Inhalte der einzelnen Ausbildungsarten eingegangen.



**Abbildung 9:** Ausbildungsstufen der Feuerwehren

#### **Truppmann-Ausbildung**

Die Truppmann-Ausbildung wird am Standort der Feuerwehr oder bei mehreren

---

<sup>56</sup>Vgl. AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHRANGELEGENHEITEN, KATASTROPHENSCHUTZ UND ZIVILE VERTEIDIGUNG (AFKzV): *Feuerwehrdienstvorschriften: Ausbildung der Freiwilligen Feuerwehren: FwDV 2*. Stuttgart: Deutscher Gemeindeverlag, 2012, 91 Seiten, S. 7.

Feuerwehren auf Gemeinde- oder Kreisebene durchgeführt.<sup>57</sup> Innerhalb der Truppausbildung muss jeder Anwärter zunächst den Truppmann Teil 1 (Grundausbildungslehrgang) durchlaufen. Dieser vermittelt grundlegende Tätigkeiten im Lösch- und Hilfeleistungseinsatz. Er umfasst eine Dauer von mindestens 70 Stunden. Die Ausbildung der anschließenden Truppmann-Ausbildung Teil 2 befasst sich mit der selbstständigen Wahrnehmung der Truppmannfunktion im Lösch- und Hilfeleistungseinsatz sowie spezifischen standortbezogenen Kenntnissen. Der zeitliche Bedarf ist über zwei Jahre und mindestens 80 Stunden verteilt.

Im Anschluss an die Truppmann-Ausbildung folgt der Lehrgang „Truppführer“. Dieser vermittelt das Führen eines Trupps innerhalb einer Gruppe oder Staffel. Der Lehrgang wird auf Kreisebene oder in einer Landesfeuerweherschule durchgeführt und umfasst mindestens 35 Stunden. Abbildung 10 illustriert die Ausbildungsstufen der Truppmann-Ausbildung.



**Abbildung 10:** Stufen der Truppmann-Ausbildung<sup>58</sup>

---

<sup>57</sup>Vgl. AFKzV: FwDV 2, S. 11.

<sup>58</sup>Vgl. AFKzV: FwDV 2, S. 10.

#### **Technische Ausbildung**

Nach erfolgreichem (Teil-)Abschluss der Truppmannausbildung kann die Technische Ausbildung beginnen. Sie umfasst die weiterführenden Lehrgänge zu Sprechfunk und Atemschutzgeräteträger, Maschinist, Technische Hilfeleistung, verschiedene ABC-Lehrgänge sowie Gerätewarte. Die Inhalte der einzelnen Ausbildungen sind ausführlich in Feuerwehrdienstvorschriften: Ausbildung der Freiwilligen Feuerwehren: FwDV 2<sup>59</sup> aufgeführt.

#### **Führungsausbildung**

Haben sich Personen im Feuerwehrdienst bewährt, können sie an der Führungsausbildung teilnehmen. Die Führungsausbildung umfasst die Lehrgänge Gruppenführer, Zugführer, Verbandsführer, Stabsarbeit sowie weiterführende Lehrgänge der Technischen Ausbildung. Die Lehrgänge werden an den Landesfeuerweherschulen durchgeführt. Die Themen der Lehrgänge sind ebenfalls in Feuerwehrdienstvorschriften: Ausbildung der Freiwilligen Feuerwehren: FwDV 2<sup>60</sup> zu finden.

#### **3.1.1.2 Ausbildung der Berufsfeuerwehr**

Grundsätzlich beinhaltet die Ausbildung der Berufsfeuerwehr die gleichen Lerninhalte wie die Ausbildung der Freiwilligen Feuerwehr.<sup>61</sup> Zusätzlich werden jedoch noch weitere Inhalte ergänzt, die beispielsweise den täglichen Einsatz der Gefahrenabwehr, Rechtsgrundlagen und eine Ausbildung zum Rettungssanitäter beinhalten. Die Ausbildung des Feuerwehrgrundlehrgangs für Berufsfeuerwehren umfasst im Land Hessen 800 Stunden und wird in der Regel an der Landesfeuerwehrschule im Blockunterricht durchgeführt. Themen und Stundenanzahl der Inhalte sind im Ausbildungsrahmenplan Feuerwehrgrundlehrgang zu finden.<sup>62</sup>

Im Anschluss an den Grundlehrgang werden weitere Lehrgänge, wie Atemschutzlehrgang, Lehrgang Löschwasserversorgung, Maschinistenlehrgang oder Lehrgang Löschmittel Schaum je nach Qualifikation bzw. Eignung besucht. Im weiteren Verlauf können im Rahmen des mittleren und gehobenen sowie höheren Feuerwehrdienstes

---

<sup>59</sup>Vgl. AFKzV: FwDV 2, S. 16 ff.

<sup>60</sup>Vgl. AFKzV: FwDV 2, S. 18 ff.

<sup>61</sup>Vgl. LANDESFEUERWEHRSCHULE HESSEN: Ausbildungsrahmenplan Feuerwehrgrundlehrgang. Kassel, Deutschland, 03 2012.

<sup>62</sup>LANDESFEUERWEHRSCHULE HESSEN: Ausbildungsrahmenplan Feuerwehrgrundlehrgang.

weitere Lehrgänge besucht werden, die sowohl die Führung von Gruppen als auch Aufgaben zum vorbeugenden Brandschutz beinhalten. Weitere Informationen sind beispielsweise in den Lernzielkatalogen der Feuerweherschulen zu finden.<sup>63</sup>

#### 3.1.1.3 Unterrichtsorganisation und -methoden

Zur Vermittlung der betreffenden Inhalte werden unterschiedliche Formen des Unterrichts vorgeschlagen. Für den Einsatz einer simulationsgestützten Übung sind hier das Rollenspiel und die Planübung zu nennen. Die Feuerwehrdienstvorschrift 2 definiert das Rollenspiel wie folgt:

„Beim Rollenspiel werden Probleme oder problemhaltige Situationen von einer begrenzten Zahl an Personen in frei erfundenen Verhaltensweisen vorgetragen beziehungsweise dargestellt. Vonseiten der Ausbilder werden vor dem eigentlichen Rollenspiel sowohl die Situation als auch die Rollen (das heißt die jeweiligen Erwartungen, die an die Personen gestellt werden, die diese Rollen übernehmen) vorgegeben.“<sup>64</sup>

Eine besondere Form des Rollenspiels stellt die Planübung dar:

„[...], bei der in der Regel nur eine Rolle (die des Einsatzleiters oder eines Einsatzabschnittsleiters) vergeben wird. Bei der Planübung wird einem oder mehreren am Unterricht Teilnehmenden ein vorher festgelegter praxisbezogener Fall vorgelegt, der ein Entscheidungsproblem enthält. Dieses Problem wird allein oder in gemeinsamer Arbeit analysiert und gelöst. Voraussetzung für eine erfolgreiche Planübung ist eine möglichst realistische Falldarstellung aus der Sicht derjenigen, die die Rolle der Entscheidungsträger übernehmen.“<sup>65</sup>

Einzelne Landesfeuerweherschulen nutzen bereits elektronisch unterstützte Planspiele in Form von Serious Games.<sup>66</sup> Viele Landesfeuerweherschulen nutzen aufgrund Ihrer

---

<sup>63</sup>Vgl. FEUERWEHR- UND KATASTROPHENSCHUTZSCHULE RHEINLAND-PFALZ: Lernzielkatalog mittlerer feuerwehrtechnischer Dienst. (URL: [http://internet.lfks-rlp.de/fileadmin/user\\_upload/Redakteur/downloads/dven/fwdv/Lernzielkatalog\\_mD.pdf](http://internet.lfks-rlp.de/fileadmin/user_upload/Redakteur/downloads/dven/fwdv/Lernzielkatalog_mD.pdf)) – Zugriff am 22.04.2011.

<sup>64</sup>AFKzV: FwDV 2, S. 29.

<sup>65</sup>AFKzV: FwDV 2, S. 30.

<sup>66</sup>Vgl. FEUERWEHR- UND KATASTROPHENSCHUTZSCHULE RHEINLAND-PFALZ: SAFER. (URL: <http://internet.lfks-rlp.de/index.php?id=425>) – Zugriff am 08.10.2011.

Strukturen allerdings noch Plan- bzw. Rollenspiele auf Basis von maßstabsgetreuen Modellplatten, an denen die angehenden Führungskräfte den Führungsvorgang trainieren können. Ein gravierender Nachteil dieser Methode ist allerdings die Übersicht der Modelle für die Teilnehmer. Aus der Vogelperspektive können Straßen und mögliche Gefahren viel besser überblickt werden, als es durch die eigenen Augen in der Realität der Fall wäre.

Einige Landesfeuerwehrschulen bieten darüber hinaus E-Learning in unterschiedlichster Art und Weise an. Exemplarisch kann hier die Landesfeuerwehrschule Sachsen genannt werden, die Computer-Based-Training (CBT) Kurse beispielsweise für Atemschutzgeräteträger zur Verfügung stellen.<sup>67</sup> Eine Integration von Serious Games innerhalb der E-Learning Plattformen ist aktuell nicht zu finden.

#### 3.1.2 Technisches Hilfswerk (THW)

Die Aufgabe der Bundesanstalt Technisches Hilfswerk ist die technische Hilfeleistung. Das THW-Gesetz<sup>68</sup> nach § 1 Absatz 2 definiert die Hilfeleistung wie folgt:

„Das Technische Hilfswerk leistet technische Hilfe:

- nach dem Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz,
- im Ausland im Auftrag der Bundesregierung,
- bei der Bekämpfung von Katastrophen, öffentlichen Notständen und Unglücksfällen größeren Ausmaßes auf Anforderung der für die Gefahrenabwehr zuständigen Stellen sowie
- bei der Erfüllung öffentlicher Aufgaben im Sinne der Nummern 1 bis 3, soweit es diese durch Vereinbarung übernommen hat.“

Das Technische Hilfswerk ist dem Bundesministerium des Inneren unterstellt und in THW-Leitung, acht Landesverbände, 66 Geschäftsstellen, 668 Ortsverbände sowie eine Bundesschule mit zwei Standorten strukturiert. Die Einsatzkräfte bzw. Helfer des THW sind zu 99 % ehrenamtlich engagiert.<sup>69</sup>

---

<sup>67</sup>Vgl. LANDESFEUERWEHRSCHEULE SACHSEN: E-Learning Führungskräfte. (URL: <http://www.lfs.sachsen.de/9010.htm>) – Zugriff am 10.04.2012.

<sup>68</sup>THW Gesetz in der Fassung vom 29. Juli 2009

<sup>69</sup>BUNDESANSTALT TECHNISCHES HILFSWERK (THW): Bundesanstalt THW. (URL: [http://www.thw.de/DE/THW/Bundesanstalt/bundesanstalt\\_node.html](http://www.thw.de/DE/THW/Bundesanstalt/bundesanstalt_node.html)) – Zugriff am 03.04.2011.



Die Ausbildung ist in die drei unterschiedlichen Ausbildungsstufen Einsatzbefähigung, Fachbefähigung und Weiterbefähigung gegliedert.<sup>70</sup> Die Einsatzbefähigung wird am THW-Standort der Ortsverbände mit der Grundausbildung durchgeführt. Diese umfasst 75 Stunden mit den in Tabelle 3 aufgeführten Lernabschnitten und Inhalten.

**Tabelle 3:** Lernabschnitte der THW-Grundausbildung nach ZENTRUM FÜR AUS- UND FORTBILDUNG (ZAF)<sup>71</sup>

Lernabschnitt	Themen
LA 1	Das THW im Gefüge des Zivil- und Katastrophenschutzes
LA 2	Grundlagen der Arbeitssicherheit
LA 3	Arbeiten mit Leinen, Spanngurten, Drahtseilen, Ketten und Rundschnitten
LA 4	Umgang mit Leitern
LA 5	Ausleuchten von Einsatzstellen
LA 6	Holz-, Gesteins- und Metallbearbeitung
LA 7	Bewegen von Lasten
LA 8	Arbeiten im und am Wasser
LA 9	Verhalten im Einsatz
LA 10	Grundlagen Rettung und Bergung
LA 11	Einsatzgrundlagen

Im Anschluss an die Grundausbildung kann mit der Ausbildungsstufe II begonnen werden. In dieser Stufe wird die Fachausbildung, die Auslandsausbildung, die Führungsausbildung und die Ausbildung für besondere Funktionen durchgeführt. Die Fachausbildung beinhaltet die Ausbildung der Fachgruppen innerhalb des Technischen Hilfswerks. Die Bereichsausbildung ist eine überörtliche Ausbildung, in der mehrere regional zusammengehörige THW-Einheiten ausgebildet werden. Die Auslandsausbildung dient zur Ausbildung des im THW-Gesetz verankerten Auftrags zur Hilfe im Ausland. Für die Auslandshilfe existieren unterschiedliche Spezial-Einheiten, die sich aus Fachkräften aus dem gesamten Bundesgebiet zusammensetzen. Die Führungsausbildung wird auf Ebene der THW-Bundesschulen durchgeführt. „Die Fortbildungen der Ausbildungsstufe III bauen auf der Fachausbildung auf bzw. vertief[en] deren Inhalte.“<sup>72</sup>

---

<sup>70</sup>BUNDESANSTALT TECHNISCHES HILFSWERK (THW): Kompetenzentwicklung. (URL: [https://extranet.thw.de/THW-Extranet/DE/Kompetenzentwicklung/kompetenzentwicklung\\_node.html](https://extranet.thw.de/THW-Extranet/DE/Kompetenzentwicklung/kompetenzentwicklung_node.html)) – Zugriff am 03.04.2011.

<sup>71</sup>Vgl. ZENTRUM FÜR AUS- UND FORTBILDUNG (ZAF): Basisausbildung im THW Prüfungsvorschrift. Bonn, Deutschland, 2006.

<sup>72</sup>BUNDESANSTALT TECHNISCHES HILFSWERK (THW): Kompetenzentwicklung.

Seit dem Jahr 2005 hat sich E-Learning als eine Säule im Ausbildungsbereich des THW etabliert. Zahlreiche Lehrgänge auf Ebene der Bundesschule werden in einem Blended Learning durchgeführt. Dabei werden die Inhalte in einer Online- und einer Präsenz-Phase gelehrt. Die Online-Konferenzen finden in einem virtuellen Klassenzimmer statt, das in ein E-Learning-Portal für die Helfer integriert ist.<sup>73</sup>

In dem speziellen Lehrgang Ausbildungslehre werden unterschiedliche Unterrichtsmethoden vorgestellt und so Ausbilder geschult.<sup>74</sup> Dieser Lehrgang gehört zur Qualifikation von Führungskräften und vermittelt auch das Rollenspiel. In weiteren Lehrgängen zur Ausbildung von Gruppen- und Zugführern werden ebenfalls eine Planübung sowie das Rollenspiel als Vermittlungsmethode eingesetzt.<sup>75</sup>

#### 3.1.3 Organisationsübergreifend

Zum Schutz vor Katastrophen in den Regionen werden organisationsübergreifend Übungen mit den Katastrophenschutzorganisationen durchgeführt. Diese werden von Behörden, beispielsweise dem Landkreis, kreisfreien Städten oder Regierungsbezirken, initiiert. Dabei wird versucht, ein mögliches Katastrophen-Szenario innerhalb der entsprechenden Region nachzustellen und die regional ansässigen Katastrophenschutzorganisationen einzubeziehen.

Im Schwalm-Eder-Kreis wurde beispielsweise am 23.08.2009 eine Übung mit einem Zugunfall im Kehrenberg-Tunnel durchgeführt. Dabei wurde eine Entgleisung eines Personenzugs mit 153 Insassen in einem der zahlreichen Tunnel der ICE-Strecke Hannover - Kassel - Würzburg simuliert. Aufgrund der Entgleisung erlitten 70 Personen Verletzungen.<sup>76</sup> Für die Übung wurden ca. 400 Einsatzkräfte alarmiert, um die Situation zu bewältigen. Neben den örtlichen Organisationen wie Feuerwehr, DRK und THW wurde auch der von der Deutschen Bahn für diese Strecke entwickelte Rettungszug eingesetzt, um damit die Übung noch realistischer zu gestalten. Diese wurde ausgewertet und konnte so wichtige Informationen über die Zusammenarbeit

---

<sup>73</sup>BUNDESANSTALT TECHNISCHES HILFSWERK (THW): E-Learning als eine Säule der Ausbildung im THW. (URL: [http://176.9.38.205/lernsystem/cms/upload/PDF/e\\_learning\\_ausbildung\\_thw\\_01\\_08.pdf](http://176.9.38.205/lernsystem/cms/upload/PDF/e_learning_ausbildung_thw_01_08.pdf)) – Zugriff am 03.04.2011.

<sup>74</sup>Vgl. THW BUNDESSCHULE: Lehrgangsplan. (URL: <http://thw-bundesschule.de/>) – Zugriff am 05.04.2011.

<sup>75</sup>Vgl. THW BUNDESSCHULE: Lehrgangsplan.

<sup>76</sup>WENDEROTH, KURT: Angst vorm Tod im Tunnel. In: Hessisch Niedersächsische Allgemeine Zeitung, 2009 Nr. 195.

der eingesetzten Organisationen und die Organisation innerhalb der „Katastrophe“ geben.

Weitere Ausbildungen für Führungskräfte der verschiedenen Katastrophenschutzorganisationen bietet das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe an. Die Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz (AKNZ) hat unter anderem ein Bildungsangebot zur Aus- und Fortbildung von Führungskräften, Lehrkräften des Katastrophenschutzes, des mit Fragen der zivilen Verteidigung befassten Personals und Auswertung von Großschadenslagen im In- und Ausland.<sup>77</sup>

#### **3.1.4 Schnittmenge der Ausbildung von Organisationen mit Katastrophenschutzaufgaben**

In den vorherigen Abschnitten wurden die Ausbildungen sowie die Strukturen von Katastrophenorganisationen aufgezeigt. Aufgrund der aufgezeigten Aufgaben ist eine Schnittmenge der Ausbildung und Aufgaben festzustellen. Zunächst wird bei jeder Organisationseinheit eine Sichtung der Schadenslage durchgeführt. Diese hat zwar je nach Organisation einen organisationsabhängigen Fokus, grundlegend wird jedoch zunächst die Schadenslage analysiert. Das Retten und Bergen von Mensch, Tier und Sachgütern steht im Falle einer Katastrophe bei allen Organisationen im Vordergrund. Zur Rettung von diesen werden durch die Organisationen unterschiedliche Rettungsmittel zur Verfügung gestellt und eingesetzt. Diese Ausrüstung wird kombiniert und unterstützt so den Rettungsprozess. Alle Organisationen leisten im Katastrophenfall Erste Hilfe und müssen auf die Symptome von Verletzten reagieren können.

Jede Organisation setzt als Unterrichtsmethode sowohl Rollenspiel als auch Planübung ein. Es kann demnach festgehalten werden, dass aus diesem Grund jede Organisation Lernsimulationen in der Ausbildung einsetzen kann.

Einige Organisationen und Schulen bieten darüber hinaus auch E-Learning als eigene Ausbildungsform an. Für sie sind Lernsimulationen besonders interessant, da die technischen Voraussetzungen schon geschaffen sind und den Lernenden bereits zur Verfügung stehen. Die Integration von Lernsimulationen in die E-Learning-

---

<sup>77</sup>BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ UND KATASTROPHENHILFE: Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. <URL: <http://www.bbk.bund.de/>> – Zugriff am 03.05.2011.

Umgebung ermöglicht so auch eine Planübung bzw. ein Rollenspiel in dieser Form der Ausbildung.

#### 3.1.5 Triage Ablauf

Um Verletzte aus einer Großschadenslage zu retten, werden Algorithmen angewandt, die als Triage bezeichnet werden. Die Triage ist die Sichtung von Patienten zur Priorisierung hinsichtlich Art und Umfang der Behandlung. Es wird die Schwere und die Art der Verletzung festgestellt und somit eine Behandlungsdringlichkeit ermittelt, damit eine bestmögliche Versorgung vieler Verletzter gewährleistet wird.<sup>78</sup> Bei der Triage wird ebenfalls die Reihenfolge der Behandlung und Transport festgelegt. Dies bedeutet, dass Rettungsmittel, verfügbares Personal und deren Ausbildung eine entscheidende Rolle bei einer Triage spielen. Für die Priorisierung haben sich Sichtungskategorien bewährt (vgl. Tabelle 4).

**Tabelle 4:** Sichtungskategorien nach NEITZEL/LADEHOF<sup>79</sup>

Sichtungskategorie	Beschreibung	Konsequenz
<b>SK I / T1</b>	Akute, vitale Bedrohung	Sofortbehandlung vor Ort
<b>SK II / T2</b>	Schwerverletzt/schwer erkrankt	Aufgeschobene Behandlung (Versorgung nach T1)
<b>SK III / T3</b>	Leichtverletzt/leicht erkrankt	Spätere (ambulante) Behandlung
<b>SK IV / T4</b>	(Derzeit) ohne Überlebenschance Tote	Betreuende (abwartende) Behandlung Kennzeichnung

Für die Einsatzkräfte im Schadensgebiet ist vor allem die Bergungssichtung, die auch als Vorsichtung bezeichnet wird, wichtig, da beispielsweise in Großschadenslagen Bereiche existieren können, die nur von Atemschutzgeräteträgern betreten werden dürfen. Hier müssen diese Helfer dann eine Vorkategorisierung durchführen.<sup>80</sup> Die Untersuchungszeit sollte dabei im Bereich von 20 – 60 Sekunden pro Patient liegen.<sup>81</sup>

Im Folgenden werden zwei Sichtungsschemata beschrieben, die bei einer Triage eingesetzt werden. Es existieren zwar noch weitere Algorithmen zur Durchführung einer Triage, international wird jedoch der Simple Triage and Rapid Treatment

<sup>78</sup>Vgl. NEITZEL, CHRISTIAN/LADEHOF, KARSTEN: Taktische Medizin: Notfallmedizin und Einsatzmedizin. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012, S. 183 ff.

<sup>79</sup>Vgl. NEITZEL/LADEHOF: Taktische Medizin: Notfallmedizin und Einsatzmedizin, S. 186.

<sup>80</sup>Vgl. NEITZEL/LADEHOF: Taktische Medizin: Notfallmedizin und Einsatzmedizin, S. 185.

<sup>81</sup>WIKIPEDIA: Triage — Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. <URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Triage&oldid=107992951>> – Zugriff am 06.11.2012.

(START) Algorithmus sowie leichte Modifikationen von diesem eingesetzt.<sup>82</sup>

#### 3.1.5.1 START

Der START Algorithmus ist der weltweit am häufigsten eingesetzte Algorithmus zur Sichtung von Verletzten. Seine Anwendung erzielt die besten Ergebnisse im Vergleich zu anderen Algorithmen, wie beispielsweise CareFlight.<sup>83</sup>

Es werden Mobilität, Atmung, Puls und Bewusstsein abgefragt und anhand der Ergebnisse die Kategorisierung durchgeführt.

Das Ablaufschema des START Algorithmus ist im Flussdiagramm in Abbildung 11 dargestellt.

#### 3.1.5.2 mSTART

Der mSTART Algorithmus, eine modifizierte Form des START Schemas, ist von der Berufsfeuerwehr München in Zusammenarbeit mit der Ludwig-Maximilians-Universität München entwickelt worden, und ist ein leicht angepasster Algorithmus, der auch kritische Befunde festlegt und so den Einsatzkräften verfügbar macht.<sup>85</sup> Im Vergleich zum START-Algorithmus wird neben den bereits erwähnten Vitalparametern der Patient auch auf eine tödlichen Verletzung, eine spritzende Blutung und eine Untergrenze der Atemfrequenz untersucht. Abbildung 12 stellt den veränderten Ablauf in einem Flussdiagramm dar.

#### 3.1.5.3 Basis-Check

Sind ausreichend Ressourcen während einer Notfallsituation vorhanden, kann von erfahrenem Rettungspersonal auch ein Basis-Check durchgeführt werden. Der Basis-Check dauert ca. 2 Minuten und soll eine frühe Einschätzung einer vitalen Bedrohung

---

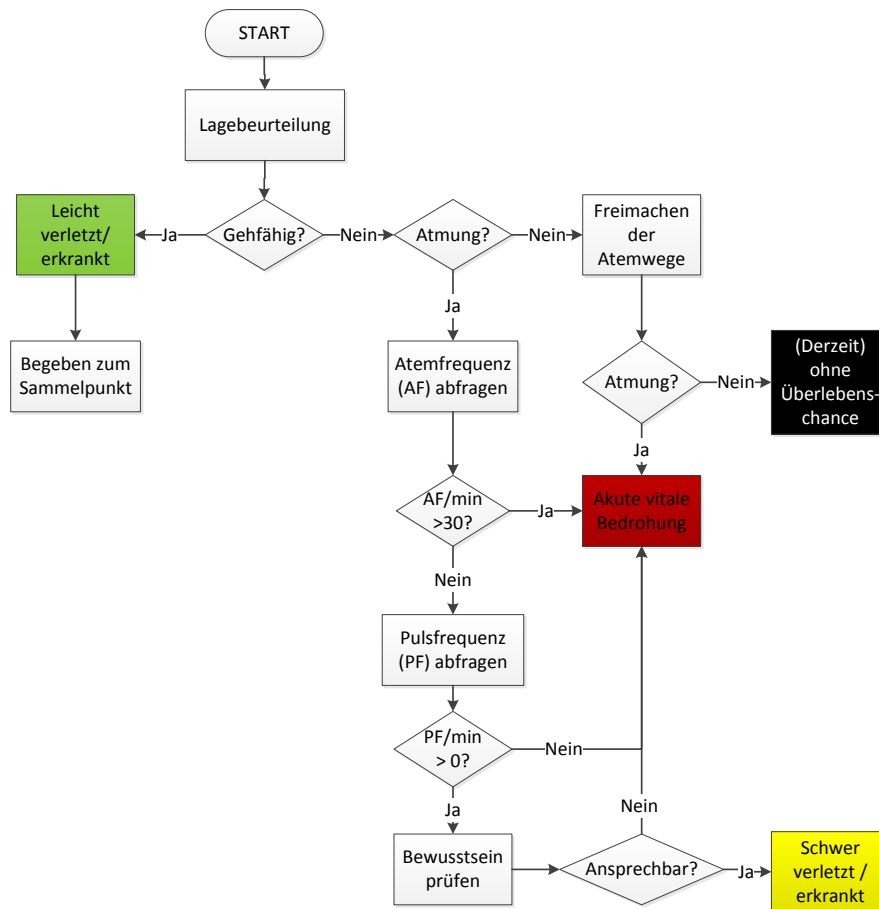
<sup>82</sup>GARNER, ALAN et al.: Comparative analysis of multiple-casualty incident triage algorithms. In: Annals of Emergency Medicine, 38 2001 Nr. 5 (URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196064401410675>).

<sup>83</sup>Vgl. GARNER et al.: Annals of Emergency Medicine, Nr. 5, Bd. 38, 2001, S. 544f.

<sup>84</sup>Vgl. KAHN, CHRISTOPHER A. et al.: Does START Triage Work? An Outcomes Assessment After a Disaster. In: Annals of Emergency Medicine, 54 2009 Nr. 3 (URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019606440900002X>), S. 425.

<sup>85</sup>Vgl. KANZ, K. et al.: mSTaRT-Algorithmus für Sichtung, Behandlung und Transport bei einem Massenanfall von Verletzten. In: Notfall + Rettungsmedizin, 9 2006 (URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s10049-006-0821-3>), S. 264.

<sup>86</sup>Vgl. KANZ et al.: Notfall + Rettungsmedizin, Bd. 9, 2006, S. 266.



**Abbildung 11:** Flussdiagramm des START Algorithmus in Anlehnung an KAHN et al.<sup>84</sup>

geben. Beim Basis-Check wird eine Vitalfunktionskontrolle mit Bewusstsein, Atmung und Circulation (BAC-V) durchgeführt. Darüber hinaus kann eine Nagelbettprobe entnommen und analysiert sowie der Puls, Blutsauerstoffgehalt und ein EKG mit den entsprechenden Mitteln erhoben werden.<sup>87</sup>

Äußere Verletzungen können innerhalb des Basis-Checks mit dem Bodycheck untersucht werden. Der Bodycheck gibt den Rettungskräften einen ersten groben Überblick über die Verletzungen. Dieser Bodycheck wird von Kopf zum Zeh durchgeführt.<sup>88</sup>

<sup>87</sup>Vgl. LANDESFEUERWEHRSSCHULE BREMEN: Notfallmedizin in vier Phasen. <URL: <http://www.landesfeuerwehrschule.bremen.de/sixcms/media.php/13/NF-Med\%20in\%204Phasen.pdf>> – Zugriff am 20.02.2010, S. 4f.

<sup>88</sup>Vgl. LANDESFEUERWEHRSSCHULE BREMEN: Notfallmedizin in vier Phasen, S. 6.

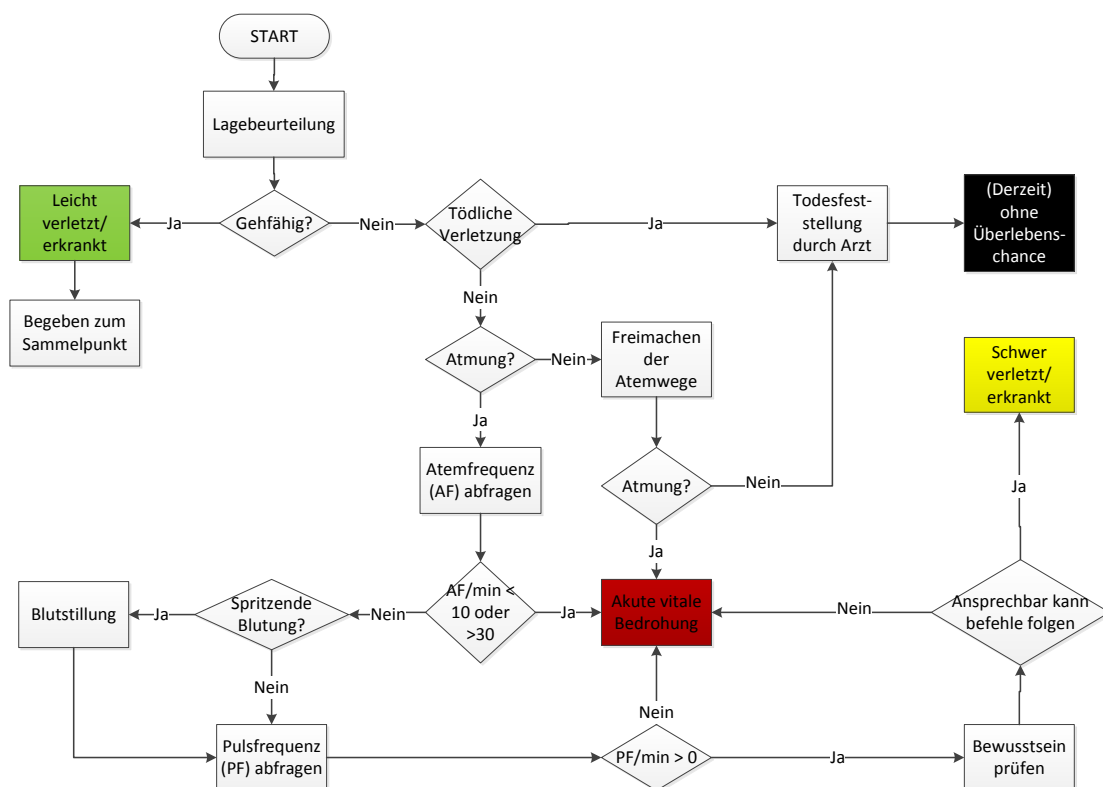
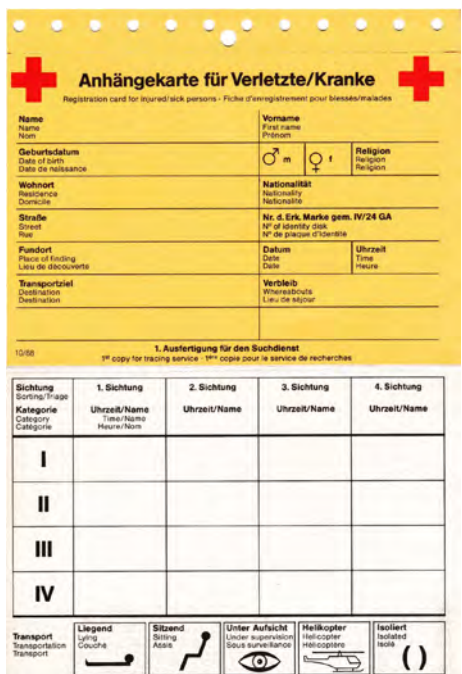


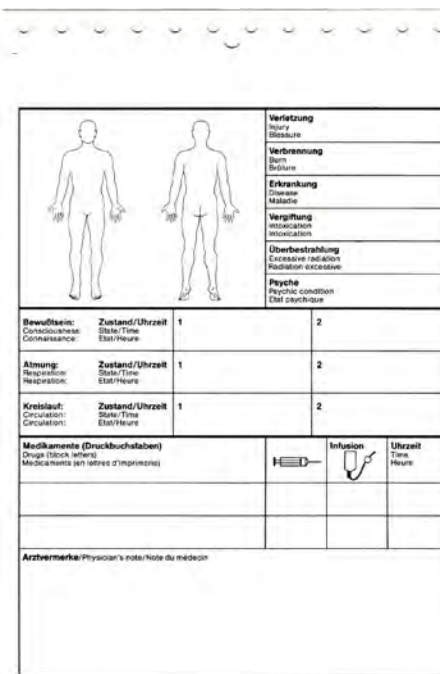
Abbildung 12: Flussdiagramm des mSTART Algorithmus in Anlehnung an KANZ et al.<sup>86</sup>

### 3.1.5.4 Dokumentation der Triage

Die Dokumentation der Sichtung wird in Deutschland aktuell noch durch Verletzten-Anhängekarten (VAK) durchgeführt. Auf der Verletzten-Anhängekarte werden der Zustand der Person und die Behandlungsprioritäten entsprechend der Sichtungskategorie (vgl. Tabelle 4) festgehalten. Weiterhin werden getroffene Erst-Maßnahmen und Transportpriorität dokumentiert. Die Verletzten-Anhängekarte vermittelt der Einsatzleitung einen Überblick über die Gesamtsituation.<sup>89</sup> Abbildung 13 stellt die vom DRK und in Deutschland verwendete Anhängekarte dar.



(a) Vorderseite



(b) Rückseite

Abbildung 13: Vorder- und Rückseite der Verletzten-Anhängekarte

### 3.1.5.5 Übersicht Vitalparameter

Die in der Triage oder dem Basis-Check aufgeführten Vorgänge zeigen verschiedene Vitalparameter, die während der Sichtung überprüft werden. Tabelle 5 benennt die

<sup>89</sup>Vgl. PANTZER, ULRIKE: Hinweise zum Gebrauch VAK und Suchdienstkarte. (URL: [http://www.drk-paderborn.de/Servicestelle/%20Ehrenamt/download/Gebrauchsanweisung\\_Verletztenanhaengekarte.pdf](http://www.drk-paderborn.de/Servicestelle/%20Ehrenamt/download/Gebrauchsanweisung_Verletztenanhaengekarte.pdf)) – Zugriff am 11.05.2010, S. 2 ff.



von den Algorithmen abgefragten Vitalparameter. Die Vitalparameter, die durch

**Tabelle 5:** Abgefragte Vitalparameter und Symptome bei der Triage

Vitalparameter / Symptome	START	mSTART	Basic-Check
Gefähig	x	x	über Bodycheck
Atemfrequenz	x	x	x
Puls	x	x	x
Bewusstsein	x	x	x
Blutung	-	x	über Bodycheck
Nagelbettprobe	-	-	x
Blutdruck	-	-	x
Blutsauerstoffsättigung	-	-	x

verschiedene Rettungsabläufe erhoben werden, dienen zur Beurteilung des Zustands des Patienten und beeinflussen so alle weiteren Rettungsmaßnahmen.

## 3.2 Einsatzkräfte-Trainingssoftware

Für die Simulation von Katastrophen sind in der Vergangenheit bereits Simulationen bzw. Serious Games entwickelt worden. Diese können teilweise auch zur Ausbildung von Einsatzkräften genutzt werden.

Simulationen haben in der Regel einen positiven Effekt auf Training bzw. Ausbildung.<sup>90</sup> Wie bereits aufgezeigt, sind Simulationen in virtuellen Umgebungen wesentlich kostengünstiger. Neben diesen Faktoren sind Eigenschaften, die im Zusammenhang mit Katastrophen auftreten, wie zum Beispiel Brände, Trümmerlandschaften oder Hochwasser, immer gefährlich und stellen daher auch eine Gefahr, insbesondere für nicht ausreichend ausgebildete Einsatzkräfte, während der Ausbildung dar.

Für die Ausbildung von Einsatzkräften sind nach MICHAEL/CHEN Serious Games der Kategorie „Government Games“ interessant, da diese das Training und die Simulation von öffentlichen Einrichtungen beinhalten.<sup>91</sup> In diese Kategorie fallen beispielsweise Krisenmanagement, Pandemien, Stadtplanung oder Feuerwehrtraining. Im Bereich des Trainings von Einsatzkräften sind dabei folgende Produkte und Forschungen zu finden:

- Advanced Disaster Management Simulator (ADMS)

<sup>90</sup>Vgl. SWARTOUT, W.R.: Simulators for human-oriented training. In: Proceedings of the 38th conference on Winter simulation. Monterey, California, USA, 2006.

<sup>91</sup>Vgl. MICHAEL, D.R./CHEN, S.L.: Serious games: Games that educate, train and inform. Muska & Lipman/Premier-Trade, 2005.

- Americas Medic: Zero Hour
- HumanSim
- RescueSim
- Resussim Prehospital
- Safer (XVR und ISEE)
- Triage Trainer

In den folgenden Abschnitten werden die Produkte kurz dargestellt und untersucht. Die Punkte *Einsatz von Vitalparametern*, *Einsatz für verschiedene Organisationen*, *Verletzungsmuster*, *Mimik der Avatare* und das *Szenario* werden soweit möglich evaluiert.

## Advanced Disaster Management Simulator

Advanced Disaster Management Simulator (ADMS) ist ein Serious Game zur Ausbildung von Feuerwehren, Polizeikräften und Rettungsdiensten.<sup>92</sup> Es gibt verschiedene Realisierungen der einzelnen Anwendungen sowie beispielsweise Desktop-Lösung oder CAVE<sup>93</sup>-Anwendung. Die Teilnehmer können verschiedene Rollen einnehmen. Die Anwendungen sind auf amerikanische Standards ausgerichtet. Es sind verschiedene Szenarien, wie beispielsweise Brände, Verkehrsunfälle in Tunneln, Autobahnen oder Zugunfälle verfügbar. Jedes Szenario kann durch die vorhandenen 3D-Modelle angepasst und erweitert werden.<sup>94</sup> Vitalparameter werden nicht direkt angezeigt, es wird allerdings ein Bild eines Avatars mit dem Verletzungsmuster eingeblendet. Aufgrund dieser Informationen kann eine Transportkategorie bestimmt werden. Eine Mimik ist bei den verletzten Avataren nicht vorhanden.

Die Lösungen sind Spezialanfertigungen und benötigen somit Erfahrungen im Umgang mit solchen Systemen.

---

<sup>92</sup>DIDDEREN, E./VAN WIJNGAARDEN, M./KOBES, M.: Emergency Team Training in Virtual Reality. An Evaluation of the Design Process and of the Performances of NIFV-ADMSTM in Training Sessions. Emergency. In: Journal of Information Processing, 6 2009.

<sup>93</sup>CAVE - Cave Automatic Virtual Environment.

<sup>94</sup>ENVIRONMENTAL TECTONICS CORPORATION: ADMS Command. (URL: <http://www.trainingfordisastermanagement.com/products/training-incident-command-and-disaster-management/>) – Zugriff am 01.06.2011.

## Americas Medic: Zero Hour

Ein weiteres Serious Game ist Zero hour.<sup>95</sup> Dieses hat zum Ziel First Responder<sup>96</sup> mit medizinischem Hintergrund zu schulen. Die Anwendung ist als Einzelspieleranwendung konzipiert. Die Szenarien sind Naturkatastrophen oder terroristische Anschläge und können nicht verändert oder angepasst werden.

Es ist möglich, medizinisches Equipment zu benutzen und die verletzten Avatare zu behandeln. Des Weiteren können Informationen über den Gesundheitszustand erfragt werden. Die Fragen sind dabei durch ein Auswahlmenü vorgegeben. Eine Fehlbehandlung ist nicht möglich, da ein Supervisor die Aktionen überwacht.

Vitalfunktionen können bei Zero Hour abgefragt werden. Dabei werden Puls, Atmung, Blutdruck und Blutsauerstoffgehalt über ein Grafisches User Interface angezeigt. Eine Darstellung der Verletzung ist eher zweitrangig. Bei den verletzten Avataren werden mimische Regungen angezeigt.

## Human Sim

Human Sim wurde wie Zero Hour von dem Softwareunternehmen Virtual Heroes für das Apple iPad<sup>97</sup> entwickelt.<sup>98</sup> Der Anwender kann sich derzeit in zwei verschiedenen Szenarien innerhalb einer Ich-Perspektive bewegen. Das erste Szenario spielt in einem Krankenhaus, das zweite in einem Feld-Lazarett. Die Anwendung ist für Fachpersonal wie Krankenpfleger oder OP-Assistenten konzipiert.

Die Verletzungen sind bisher nicht sichtbar, sollen aber in einer nächsten Version integriert werden. Aufgrund der Bewusstlosigkeit des Patienten ist eine Mimik nicht erkennbar. Vitalparameter können im Krankenhaus über einen Monitor abgelesen werden. Auf dem Monitor sind Puls, Atemfrequenz und Blutdruck abrufbar.

---

<sup>95</sup>VIRTUAL HEREOS: Zero Hour Trains EMTs With Virtual Worst-Case Scenarios. (URL: <http://virtualheroes.com/projects/zero-hour-americas-medical>) – Zugriff am 23.09.2009.

<sup>96</sup>Ersthelfer am Einsatzort (Helfer, Notfallhelfer oder auch Sanitäter)

<sup>97</sup>APPLE INC.: Apple - Das neue iPad. (URL: <http://www.apple.com/de/ipad/>) – Zugriff am 06.06.2012.

<sup>98</sup>APPLIED RESEARCH ASSOCIATES, INC.: HumanSim. (URL: <http://www.virtualheroes.com/healthcare.asp>) – Zugriff am 13.06.2012.

## RescueSim

Die Software RescueSim der niederländischen Firma VStep ist ein Serious Game zur Simulation von Unfällen.<sup>99</sup> Mit der Software sollen u. a. Organisationen wie Feuerwehren, Rettungsdienste und Straßenmeistereien ausgebildet werden. Dazu werden verschiedene Standard-Szenarien, wie beispielsweise Feuer in Wohnungen und Häusern, ein Zug- oder Verkehrsunfall angeboten. Die Spieler können verschiedene Rollen übernehmen. Es wird mit einem Autorensystem, einer Avatar- und 3D-Modell-Datenbank und einem Logbuch zum Review der Simulation ausgeliefert.

Verletzungen der Avatare werden zwar angezeigt, oft ist jedoch nicht erkennbar, welche Art Verletzung damit dargestellt werden soll. Eine Mimik der Avatare ist nicht erkennbar. Vitalparameter der Verletzten werden aktuell nicht angezeigt.

## Resussim Prehospital

Die fotobasierte Software Resussim Prehospital der Firma Sohpus medical ist eine Anwendung zum Training der Versorgung von Patienten am Unfallort.<sup>100</sup>

Sie ist für Rettungsdienste konzipiert und beinhaltet bis zu 45 verschiedene Szenen von Unfällen.

Da die Software auf Fotos basiert, werden Avatare nicht direkt eingesetzt. Mimik und Verletzungen sind statisch auf den Fotos der Verletzten an der Einsatzstelle zu sehen.

Die Parameter des Vitalsystems sind über ein Grafisches User Interface zu sehen und verändern sich, wenn ein Medikament verabreicht worden ist.

## Safer (XVR und ISEE)

Die Software Simulation in der Ausbildung für Einsatzkräfte in Rheinland-Pfalz (SAFER) wird für die Ausbildung von Führungskräften eingesetzt. Sie kombiniert zwei unterschiedliche Programme miteinander. Für die 3D-Darstellung wird die Software XVR eingesetzt, in der sich der Anwender in Ich-Perspektive durch verschiedene Szenarien bewegen kann. Zur Darstellung der Schadenslage wird das Programm

---

<sup>99</sup>VSTEP: RescueSim. [URL: http://www.rescuesim.com/](http://www.rescuesim.com/) – Zugriff am 23.09.2009.

<sup>100</sup>DRK - SERVICE GMBH NOTTULN/SOPHUS MEDICAL: resus sim prehospital. [URL: http://www.engel-city.de/ersthelfer/Multimedia/resus\\_sim\\_prehospital/body\\_resus\\_sim\\_prehospital.html](http://www.engel-city.de/ersthelfer/Multimedia/resus_sim_prehospital/body_resus_sim_prehospital.html) – Zugriff am 23.10.2011.

ISEE eingesetzt. ISEE wird für das Trainieren des Führungsstabs bei der Stabsarbeit eingesetzt und simuliert dabei die Ressourcen im Einsatz. Diese müssen durch die Stabskräfte verwaltet werden.<sup>101</sup>

Patienten lassen sich dynamisch erzeugen. Es wird dabei auf eine Verletztendatenbank zugegriffen, in der verschiedene Krankheitsbilder und Patienten hinterlegt sind. Die Visualisierung der Vitalparameter wird durch ein statisches Bild dargestellt (vgl. Abbildung 14), das Atemfrequenz, Puls und kapillare Durchblutung anzeigt. Weiterhin wird ein kurzer Text über den allgemeinen Zustand des Patienten angegeben.

Die Darstellung von Verletzungen wird angedeutet, ist aber durch die Darstellung des statischen Bildes nur minder informativ. Die Mimik ist nicht erkennbar. Diese Software ist eine Spezialanfertigung für die Feuerwehr- und Katastrophenschutzschule Rheinland-Pfalz und wurde mit verschiedenen Partnern erstellt.<sup>102</sup>



Abbildung 14: Darstellung eines Verletzten in SAFER<sup>103</sup>

<sup>101</sup>FEUERWEHR- UND KATASTROPHENSCHUTZSCHULE RHEINLAND-PFALZ: SAFER.

<sup>102</sup>E-SEMBLE BV: Virtual training at the site of an incident. (URL: <http://www.e-semble.com/xvr/index.php?t=uk>) – Zugriff am 23.09.2009.

<sup>103</sup>FEUERWEHR- UND KATASTROPHENSCHUTZSCHULE RHEINLAND-PFALZ: SAFER.

## Triage Trainer

Auch Triage Trainer, ein Serious Game zur Sichtung und Rettung von Verletzten, befasst sich mit der Ausbildung von First Respondern.<sup>104</sup> Das Hauptszenario ist auf die Explosion einer stark befahrenen Straße beschränkt. Weitere Szenarien sind aktuell nicht verfügbar. Die Verletzten sind vorgegeben und können nicht erweitert werden.

Der Lernende muss während der Triage entscheiden, auf welche Art er welchem Verletzten hilft. Die Verletzten können dabei auch, abhängig von ihrer Verletzung, Emotionen zeigen. Verletzungen werden sowohl auf Kleidung als auch auf der Haut angezeigt. Die Vitalfunktionen können abgefragt werden, wobei die Avatare selbst keine Auskunft über den Gesundheitszustand geben.

## Gegenüberstellung der Produkte

In den vorherigen Abschnitten wurden verschiedene Produkte vorgestellt. Eine Übersicht der evaluierten Merkmale der Produkte ist Tabelle 6 zu entnehmen. Jede Software zeigt einige Merkmale, die in keiner anderen zu finden sind. Das Handling bzw. die Handhabung von Ausrüstungsgegenständen und das Durchführen einer Triage ist teilweise möglich.

**Tabelle 6:** Merkmale der Einsatzkräfte-Training-Software

Software	Vitalparameter	Organisationen	Verletzungen	Mimik	Szenario
ADMS	x	übergreifend	statisch	-	mehrere
Zero Hour	x	First Responder	teilweise	x	2
HumanSim	x	Krankenpfleger	noch nicht	-	2
RescueSim	-	übergreifend	teilweise	-	mehrere
Resusim Prehospital	x	Rettungsdienst	teilweise	-	bis zu 45
Safer (XVR und ISEE)	x	Feuerwehr	angedeutet	-	mehrere
Triage Trainer	x	First Responder	x	x	1

<sup>104</sup>BLITZ GAMES STUDIOS LTD.: Case Study - Triage Trainer. (URL: <http://www.trusim.com/?page=CaseStudy>) – Zugriff am 02.05.2010.

### 3.3 Bisherige Forschungen und Forschungsprojekte

Zahlreiche Studien belegen, dass sich Virtual Reality-Simulationen positiv auf die Ausbildung auswirken können.<sup>105</sup>

Die Forschung für die zivile Sicherheit und virtuelle Ausbildung ist aktuell in verschiedenen Publikationen zu finden. Im Folgenden werden Publikationen und Forschungsprojekte aufgeführt, die die Themen Triage und Bereitstellung von Avataren für eine Triage bzw. einen Katastrophenfall thematisieren. Es wird bei der Analyse der Publikationen und Forschungsprojekte auf die Themen Vitalsystem, Abfrage von Vitalparametern, ein Konzept zur Erstellung von Avataren sowie auf die Darstellung von realen Szenarien eingegangen.

#### 3.3.1 Verwandte Publikationen

YU/GANZ entwickelten mit MiRTE (Mixed Reality Triage and Evacuation game) eine virtuelle Umgebung zur Simulation von Massenanfällen von Verletzten.<sup>106</sup> Innerhalb der virtuellen Umgebung kann mit dem realen System DIORAMA<sup>107</sup> interagiert werden. Dieses System wird zur digitalen Dokumentation von Verletzten eingesetzt. In die Simulation werden Verletzte über eine Konfigurationsdatei integriert. Die integrierten Avatare werden über 3D-Modellierungstools fallspezifisch je nach Verletzung erstellt. Die Konfigurationsdatei beinhaltet die primären Eigenschaften Position und Sichtungskategorie (Rot, Gelb, Schwarz und Grün). Eine Berechnung von Vitalparametern ist nicht in die Software integriert, sondern diese werden durch externe Mediziner oder als feste Werte vorgegeben.<sup>108</sup> Die Szenarien basieren auf Fakten, sind aber nicht mit einer bestimmten Land-Region verknüpft.

Auch ANDREATTA et al. entwickelten ein System zur Anwendung einer Triage mit dem START-Algorithmus.<sup>109</sup> Die VR-Anwendung wurde in einer CAVE ausgeführt.

<sup>105</sup>Vgl. ANDREATTA, P.B. et al.: Virtual Reality Triage Training Provides a Viable Solution for Disaster-preparedness. In: Academic Emergency Medicine, 17 2010 Nr. 8; YU, X./GANZ, A.: MiRTE: Mixed Reality Triage and Evacuation game for Mass Casualty information systems design, testing and training. In: Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE. Boston, USA, 2011.

<sup>106</sup>YU/GANZ: MiRTE: Mixed Reality Triage and Evacuation game.

<sup>107</sup>Vgl. GANZ, A. et al.: DIORAMA: Dynamic information collection and resource tracking architecture. In: Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE. Buenos Aires, Argentina, 2010.

<sup>108</sup>YU, XUNYI: Re: Research question about your system MiRTE. E-Mail, 2012.

<sup>109</sup>ANDREATTA et al.: Academic Emergency Medicine, Nr. 8, Bd. 17, 2010

Das Szenario beinhaltet ein Abbild eines realen Büros, welches detailgetreu in die virtuelle Welt transferiert wurde. Verletzte und das Szenario werden durch keine optimierten Prozesse, sondern vielmehr individuell von 3D-Gestaltern entwickelt. Insgesamt wurden 14 Verletzte in das virtuelle Szenario integriert. Bei der Abfrage der Vitalparameter konnte nur die Atemfrequenz optisch in der virtuellen Realität wahrgenommen werden. Andere Vitalparameter werden durch externe „reale“ Betreuer bereitgestellt.

Bei VINCENT et al. steht die Nutzung von immersiver virtueller Realität im Vordergrund. In ihrer Studie verwenden sie zur Darstellung von Triagen verschiedene VR-Geräte, wie Head-Mounted-Display (Videobrille) oder Data-Gloves (Datenhandschuhe). Es werden drei verschiedene Szenarien zur Verfügung gestellt in der jeweils 5 Verletzte auftauchen. Die Vitalfunktionen können von den Verletzten abgefragt werden. Verletzte und Szenarien wurden individuell von 3D-Gestaltern entwickelt. Teilweise kann externes Equipment in der Szene genutzt werden.<sup>110</sup>

Mit Sidh, einem Serious Game in einer immersiven virtuellen Realität, kann ein Anwender in der virtuellen Umgebung interagieren.<sup>111</sup> Verschiedene Sensoren und Eingabegeräte machen die Ausbildung realistisch. Die Ausbildung ist auf schwedische Standards hin ausgerichtet. Es existieren unterschiedliche Szenarien, wie beispielsweise Brände in verschiedenen Wohnungen, einer Jugendherberge oder einer Metzgerei. Jedes Szenario wurde individuell erstellt. Obwohl keine verletzten Avatare dargestellt werden und somit auch keine Verletzungen, Mimik und Vitalparameter, ist der Ansatz dieser Software dahingehend interessant, dass die Feuerwehreinsatzkräfte in einer CAVE mit unterschiedlichen Eingabegeräten realistisch trainieren können.

Die Simulation von Patienten bzw. Verletzten in militärischen Szenarien ist ein Projekt innerhalb der RTI International für militärische Einrichtungen.<sup>112</sup> KIZAKEVICH/FURBAERG/DOBROSKI entwickelten eine Simulation zur Darstellung und Behandlung von Patienten für militärisch-medizinisches Personal. Die Szenarien stellen Kriegsszenarien auf Basis von Bombendetonationen dar. Die Avatare können mit verschiedenen Verletzungen ausgestattet werden, beispielsweise Barotraumas oder Verbrennungen. Die dargestellten verletzten Avatare sind innerhalb der Szenarien Sol-

---

<sup>110</sup>VINCENT, D.S. et al.: Teaching Mass Casualty Triage Skills Using Immersive Three-dimensional Virtual Reality. In: Academic Emergency Medicine, 15 2008 Nr. 11.

<sup>111</sup>BACKLUND, PER et al.: Sidh - a Game Based Firefighter Training Simulation. In: International Conference Information Visualisation, 11 2007, ISSN 1550-6037.

<sup>112</sup>KIZAKEVICH/FURBAERG/DOBROSKI: Salt Interactive Technologies Conference 2009.



daten. Das medizinische Personal kann mit unterschiedlichen virtuellen medizinischen Geräten umgehen. Vitalparameter können virtuell abgefragt werden. Mimik und Gestik wird teilweise eingesetzt. Bei der Simulation können verschiedene Parameter für die Avatare eingestellt werden.<sup>113</sup> Innerhalb der Szenarien sind maximal sechs Verletzte integriert. Die Verletzungen basieren auf realen Verletzungsbildern von Angriffen auf US-Soldaten in Irak und Afghanistan. Interessant an der Simulationsumgebung von KIZAKEVICH/FURBAERG/DOBROSKI ist das aus verschiedenen Komponenten bestehende Vitalsystem.<sup>114</sup> Aufgrund der Komplexität der Komponenten können keine Massen an Verletzten eingesetzt werden. Der Triage-Vorgang wird in der Simulation zwar angeboten, allerdings wird dies nur durch ein Klicken der Kategorien realisiert und somit nicht in Echtzeit.

#### 3.3.2 Geförderte Projekte

Das von der Europäischen Union von 2007 – 2011 geförderte Projekt CAST (Comparative assessment of security-centered training curricula for first responders on disaster management in the EU) hatte als Teilziel eine Simulation zur Schulung von First Responders.<sup>115</sup> Dort werden Biofeedback-Trainings durchgeführt, in denen Lernende extreme Situationen wie Terrorszenarien oder Naturkatastrophen durchlaufen. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Simulationen steht hier nicht der Handlungsablauf, sondern die Reaktionen der First-Responder im Fokus. Bei dem Biofeedback-Training wird der Stress der Anwender durch entsprechende Sensoren, wie beispielsweise für Atmung und Puls, gemessen und anschließend ausgewertet. Der First-Responder soll so besser auf eventuelle Katastrophen vorbereitet werden.

In Deutschland werden aktuell vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BmBF) 17 Projekte aus dem Themenfeld „Schutz und Rettung von Menschen“ gefördert. Ziel der Förderung ist:

„Bei diesem Förderschwerpunkt werden Szenarien betrachtet, bei denen durch Anschläge, Großunfälle, Naturkatastrophen u. a. eine Vielzahl von Menschen verletzt oder gefährdet ist. Die Schwerpunkte der Förderung

---

<sup>113</sup>Vgl. KIZAKEVICH/FURBAERG/DOBROSKI: Salt Interactive Technologies Conference 2009, S. 6.

<sup>114</sup>Vgl. KIZAKEVICH/FURBAERG/DOBROSKI: Salt Interactive Technologies Conference 2009, S. 4.

<sup>115</sup>STEINHÄUSLER, FRIEDRICH: Final Report CAST (Comparative assessment of security-centered training curricula for first responders on disaster management in the EU). (URL: <http://cast-project.eu>) – Zugriff am 23.08.2011.

liegen neben der Früherkennung von Störungen und der wirksamen Krisenprävention vor allem in der Krisenbewältigung durch zeitnahe und effiziente Einleitung von Rettungs- und Sicherheitsmaßnahmen sowie der wirksamen Notfallversorgung vor Ort.“<sup>116</sup>

Viele der geförderten Projekte setzen auf Prävention und Dokumentation von Großschadensereignissen sowie Evakuierungsmaßnahmen. Prävention bedeutet hierbei (IT-)Hilfsmittel bereitzustellen, um Sicherheit beispielsweise bei Großveranstaltungen zu gewährleisten. Bei der Dokumentation werden technische Möglichkeiten sowohl in der Patientendokumentation während des Einsatzes als auch die kontinuierliche Dokumentation des Standorts der Patienten erforscht.

Ein Teil-Aspekt des Projekts VoTeKK integriert in die ursprünglich für den Spielmarkt konzipierten Reihe Emergency Handlungen eines Patienten- und Sichtungstrainings.<sup>117</sup> Das Spiel wird dazu mit zusätzlichen Bildern und Multiple-Choice-Fragen hinterlegt. Auch ein E-Learning-Kurs ist in Planung, in dem Inhalte angeboten werden.

## 3.4 Simulationen der realen Welt

Neben Simulationen in der virtuellen Realität können Simulationen auch in der realen Welt durchgeführt werden. Zu nennen sind hier zum einen Patienten-Puppen und zum anderen Geräte oder Hilfsmittel die in Übungen oder auch der virtuellen Realität getestet werden.

Zur Ausbildung von Notfallmedizinerinnen sind an verschiedenen Kliniken Simulationszentren entstanden. Exemplarisch kann hierfür das STZ – SIMULATIONS- UND TRAININGSZENTRUM DER ANÄSTHESIOLOGISCHEN UNIVERSITÄTSKLINIK FREIBURG genannt werden.<sup>118</sup> Die eingesetzten Puppen sind mit dem medizinischen Equipment der Klinik verbunden und können diese Geräte mit Sensor-Daten be-

---

<sup>116</sup>BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG: Bewilligte Projekte aus dem Themenfeld Schutz und Rettung von Menschen. [URL: http://www.bmbf.de/de/13091.php](http://www.bmbf.de/de/13091.php) – Zugriff am 20.07.2012.

<sup>117</sup>BMBF-VERBUNDPROJEKT VoTeKK: VoTeKK - Vorbereitung auf Terroranschläge, Krisen und Katastrophen. [URL: http://www.votekk.de/](http://www.votekk.de/) – Zugriff am 1.10.2012.

<sup>118</sup>Vgl. STZ – SIMULATIONS- UND TRAININGSZENTRUM DER ANÄSTHESIOLOGISCHEN UNIVERSITÄTSKLINIK FREIBURG: Simulation. [URL: http://www.simulationszentrum.org/simulation](http://www.simulationszentrum.org/simulation) – Zugriff am 16.08.2012.

liefern. Typische Daten sind Vitalzeichen wie Puls, Atemfrequenz, Blutdruck und Temperatur. Auch Mimik und Gestik sind teilweise für die Puppen verfügbar, beispielsweise Augenzwinkern oder Pupillenveränderung. Durch zusätzliche Module können die Puppen auch für andere Zwecke eingesetzt werden.

Der Test von realen Gegenständen in virtuellen Umgebungen wird ebenfalls erforscht. Das Fraunhofer Institut für Angewandte Informationstechnik (FIT) testet neue Einsatzgeräte der Feuerwehr in der virtuellen Welt, damit beispielsweise Feuerwehrleute den Umgang mit den Werkzeugen in einer sicheren Umgebung erlernen können.<sup>119</sup> Auch GANZ et al. testen ihr System DIORAMA, ein Werkzeug zum Dokumentieren von Verletzten in Großschadenslagen in einer virtuellen Umgebung.<sup>120</sup> Gerade im Bereich der Dokumentation wird wie bereits erwähnt viel Aufwand betrieben, um bessere Ergebnisse zu erzielen.<sup>121</sup>

Ein aktuelles Projekt, welches organisationsübergreifend das Zusammenspiel der Organisationskräfte und „den Einsatz von Informationstechnik in allen Aspekten der Erfassung und Steuerung bei der Erstversorgung“ erforscht, ist SOGRO (Sofortrettung bei Großunfall).<sup>122</sup> Für das Projekt werden in regelmäßigen Abständen Großübungen durchgeführt, um Abläufe und neue Technologien einzusetzen und zu verbessern.

## 3.5 Zusammenfassung

Dieses Kapitel stellte den aktuellen Stand der Technik in verschiedenen Bereichen dar. Festzuhalten bleibt, dass bei der Ausbildung von Einsatzkräften Möglichkeiten für eine simulationsgestützte Lösung bestehen und auch in den Ausbildungsalltag einzubringen sind. Die Vorteile von simulationsgestützten Übungen sind vielfältig. Sie erfordern eine geringere Aufbauzeit als Rollenspiele oder Planübungen. Eine Planübung muss regelmäßig gepflegt werden. Staub und Zerstörung der Modelle spielen bei Lernsimulationen keine Rolle. Die Darstellung der Lage ist wesentlich

---

<sup>119</sup>Vgl. FIT, FRAUNHOFER: Firesim. (URL: <http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2012/january/simulating-firefighting-op.html>) – Zugriff am 13.02.2012.

<sup>120</sup>GANZ et al.: DIORAMA: Dynamic information collection and resource tracking architecture

<sup>121</sup>Vgl. BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG: Bewilligte Projekte aus dem Themenfeld Schutz und Rettung von Menschen.

<sup>122</sup>DEUTSCHES ROTES KREUZ BEZIRKSVERBAND FRANKFURT E.V.: SOGRO (Sofortrettung bei Großunfall). (URL: <http://www.sogro.de/>) – Zugriff am 21.08.2012.

realitätsnäher, da die Lernenden die Lage aus der Ich-Perspektive sehen und nicht wie bei einem maßstabsgetreuen Modell aus einer Vogelperspektive. Die Erkundung der Lage ist ebenfalls realistischer, da die Lernenden in einer physikalisch korrekten Geschwindigkeit durch die Szene navigieren und so ein zeitlich korrekter Ablauf darstellbar ist. Die Qualität ist durch die festgelegten Szenarien immer gleich und nicht von den Lehrern abhängig. Zusätzlich kann durch eine Aufnahme der Simulationen eine Nachbesprechung durchgeführt werden.

Als nachteilig muss die einmalige Installation und der Service der IT-Infrastruktur genannt werden. Diese Aufgabe kann i. d. R. nur von IT-Fachkräften durchgeführt werden.

Der Einsatz von Großübungen ist sicherlich ein richtiger Weg, um komplexe Aufgaben zu trainieren. Sie bergen allerdings auch Risiken. Hier soll exemplarisch die Großübung der Entgleisung eines Zuges im Tunnel genannt werden (vgl. Abschnitt 3.1.3). Dort musste eine Statistin wegen einer realen Rauchvergiftung in ein Krankenhaus transportiert werden.<sup>123</sup> Zu beachten sind hier auch die Kosten. Für Übungen in den Landkreisen steht immer nur ein begrenztes Budget zur Verfügung. Um trotzdem sehr gute Übungen durchzuführen, ist hier viel Engagement der Planer notwendig. Für professionelle Großübungen, wie beispielsweise SOGRO sind allerdings mehrere 100.000 € notwendig.<sup>124</sup>

Für die Simulation von Katastrophen sind einige Softwareprodukte zu finden, die allerdings einen sehr speziellen Fokus haben und die Forschungsfragen nur begrenzt abdecken. Keine Software ermöglicht es einen Avatar zu erstellen, der individuelle Verletzungsbilder aufweist. Wenn Szenarien erstellt werden, können maximal vorhandene Avatare aus einer Datenbank genutzt werden. Dabei muss auf die verfügbaren Avatare zurückgegriffen werden. Ebenfalls integriert keine der aufgeführten Softwareprodukte ein komplettes Vitalsystem, das die Vitalparameter in Abhängigkeit von den Verletzungen beeinflusst. Die Kombination der parametrisierten Erstellung von Avataren und dem Hinzufügen von Verletzungen mit einem Vitalsystem würde die Simulationen noch individueller und abwechslungsreicher machen. In einer Großschadenslage sind diese individuellen Verletzungsbilder wichtig, um richtige Entscheidungen während der Sichtung treffen zu können. Der Triage Vorgang kann so

---

<sup>123</sup>WENDEROTH: Hessisch Niedersächsische Allgemeine Zeitung, Nr. 195, 2009.

<sup>124</sup>DEUTSCHES ROTES KREUZ BEZIRKSVERBAND FRANKFURT E.V.: SOGRO (Sofortrettung bei Großunfall).

noch intensiver trainiert werden und die Einsatzkräfte sind auf eine größere Vielfalt von Situationen vorbereitet.

Aktuell werden Lernsimulationen nur für die Ausbildung von Führungskräften eingesetzt. In einer Großschadenslage würden jedoch auch „Nicht“-Führungskräfte eine Triage durchführen, da die Ressourcen in solch einem Fall begrenzt sind. Die Integration einer Lernsimulation in eine E-Learning-Umgebung ermöglicht auch „Nicht“-Führungskräften das Lernen des Triage Vorgang während einer Katastrophe.

Ein weiterer nicht beachteter Aspekt der verschiedenen Software-Tools sind virtuelle Städte bzw. Szenarien auf Basis realer georeferenzierter Daten. Im Falle von SAFER werden zwar bei der Ausbildung der Stabskräfte topografische Karten genutzt, allerdings nicht in der 3D-Visualisierung XVR. Gerade reale Szenarien würden die räumliche Orientierung der Einsatzkräfte verbessern, da diese durch Vorstellungen und Erfahrungen geprägt werden.<sup>125</sup>

Die im Zusammenhang mit verletzten Avataren bisher vorgestellten Lösungen, beachten alle nicht den realen Zeitbedarf zur Abfrage der Vitalwerte. Informationen über den Zustand des Patienten werden lediglich über eine GUI angezeigt. Ein sinnvolles Trainieren einer Sichtung ist daher nur schwer möglich.

---

<sup>125</sup>KLÜTER, HELMUT: Räumliche Orientierung als sozialgeographischer Grundbegriff. In: Geographische Zeitschrift, 75 1987 Nr. 2 (URL: <http://www.jstor.org/stable/27818449>).

# **Teil II**

## **Eigener Ansatz**



## **4 Planung des Katastrophen-Trainings-Systems**

Ausgehend von den vorgestellten Lösungen im Bereich der Forschung und Anwendung von Katastrophensimulationen lässt sich feststellen, dass die Darstellung des Triage-Vorgangs noch unvollständig und ausbaufähig ist. Grundsätzlich fehlen Ansätze im Bereich der Ausbildung der Einsatzkräfte vor Ort unter realen Bedingungen. Des Weiteren wird zurzeit kein Wert auf die Darstellung des Triage-Vorgangs in Echtzeit gelegt. Es ist zwar vereinzelt möglich Werte abzufragen und entsprechend zu kategorisieren, allerdings fehlt dabei der reale Zeitaufwand.

Im Folgenden wird daher eine Analyse der benötigten Komponenten aufgeführt und dargestellt.

### **4.1 Arten von Katastrophen und ihre Folgen**

Katastrophen können durch verschiedene Faktoren entstehen. Je nach Art der Katastrophen entstehen unterschiedliche Schäden. Für das Training der Triage sind zum einen Katastrophen sinnvoll die häufiger auftreten, zum anderen Katastrophen bei denen Menschen verletzt wurden. Es soll sich daher auf Katastrophen dieser Arten beschränkt werden.

Katastrophen, die durch Krieg oder Militär ausgelöst wurden, sollen genauso ausgeschlossen werden, wie nukleare Unfälle. Auch Naturkatastrophen wie Erdbeben oder Hochwasser werden hier nicht untersucht. Zur Bewältigung dieser Arten von Katastrophen werden in der Regel Spezialkräfte eingesetzt. Bei Hochwasser ertrinken die Opfer hauptsächlich aufgrund der Wassermassen. Bei den bedeutendsten Naturkatastrophen in Deutschland traten in den vergangenen Jahren nur wenig Verletzte



und Todesopfer auf.<sup>126</sup>

Mögliche Einsatzfelder sind Brand- und Explosionskatastrophen sowie Unfälle im Verkehr. Diese können jederzeit vorkommen und erfordern ausgebildete Einsatzkräfte zur Bewältigung. Vergleicht man die größeren Brandkatastrophen der letzten 30 Jahre in Europa, kann festgehalten werden, dass im Durchschnitt ca. 65 Tote und 85 Verletzte auftreten.<sup>127</sup> Das Maximum liegt bei 289 Toten und 269 Verletzten. Als schwerer Verkehrsunfall in Deutschland ist der bereits erwähnte ICE-Unfall von Eschede mit 101 Toten und 104 Verletzten zu zählen.

Die Kategorisierung innerhalb des Triage-Vorgangs ist vor allem von den Vitalwerten abhängig und wie Verletzungen diese beeinflussen. Statistiken über die Art der Verletzungen innerhalb größerer Unfälle existieren nur sehr selten. Vielmehr wird bei Unfällen oder Katastrophen nur von leicht und schwer Verletzten sowie Toten gesprochen. Die Kategorisierung von schwer und leicht verletzt ist aber für die Art der Verletzung nicht anwendbar, da sich die Kategorien an dem Verbleib im Krankenhaus orientieren. Als leicht verletzt gelten Patienten, die nicht länger als 24 Stunden im Krankenhaus bleiben müssen, entsprechend schwer verletzte länger als 24 Stunden.<sup>128</sup> In der Notfallmedizin ist eine sehr weit verbreitete Methode zur Einstufung des physiologischen Gesamtzustands von Notfall-Patienten der NACA-Score (National Advisory Committee for Aeronautics).<sup>129</sup> Wie in Tabelle 7 zu sehen, gibt diese Kategorisierung auch nur eine generalisierte Zusammenfassung der Verletzungen wieder. Sie stehen allerdings nicht in einem Zusammenhang mit Katastrophen.

---

<sup>126</sup>Vgl. MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGS-GESELLSCHAFT: Naturkatastrophen in Deutschland – Schadenerfahrungen und Schadenpotenziale. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 06 2000.

<sup>127</sup>Vgl. WIKIPEDIA: Liste der größten Brandkatastrophen — Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. <URL: [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Liste\\_der\\_gr%C3%B6%C3%9Ften\\_Brandkatastrophen&oldid=106889035](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Liste_der_gr%C3%B6%C3%9Ften_Brandkatastrophen&oldid=106889035)> – Zugriff am 16.08.2012.

<sup>128</sup>Vgl. WALTER EICHENDORF, J.H.: Praxishandbuch Verkehrsmedizin. Wiesbaden: Universum, 2012.

<sup>129</sup>Vgl. SCHNEIDER, T./WOLCKE, B./BÖHMER, R.: Taschenatlas Notfall & Rettungsmedizin: Kompendium für den Notarzt. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2010, S. 563.

**Tabelle 7:** Definition und Beispiele des NACA-Scores nach SCHNEIDER/WOLCKE/BÖHMER<sup>130</sup>

Schweregrad	Definition	Beispiel
0	keine Erkrankung / Verletzung	-
1	geringfügige Störung	Prellung
2	mäßigschwere Störung	Fingerfraktur
3	schwere, aber nicht vitalbedrohliche Störung	Oberschenkelfraktur, Rauchvergiftung
4	akute Lebensgefahr nicht auszuschließen	Wirbelverletzung
5	akute Lebensgefahr	Schwerer Herzinfarkt
6	Reanimation	Atem- und/oder Kreislaufstillstand
7	Tod	-

Aufgrund dessen werden prototypisch verschiedene Verletzungen und deren Auswirkungen auf die Vitalwerte anhand von Übungsmaterialien entwickelt. Für die Darstellung von Notfällen existieren beispielsweise spezielle Gruppen in Ortsverbänden des Deutschen-Roten-Kreuzes.<sup>131</sup> Diese Gruppen werden bei der Planung und Darstellung von Verletzten in Übungen herangezogen. Gespräche mit der Notfalldarstellung der Ortsverbände Kassel-Wolfhagen und Kassel-Land ergaben, dass am Häufigsten

- Wunden,
- Frakturen,
- Atemwegsstörungen und
- thermische Verletzungen

zur Darstellung angefordert wurden. Die Ausbildungsunterlagen der Notfalldarstellung zeigen unter anderem diese Verletzungsbilder als Möglichkeiten einer Maskenbildung.<sup>132</sup> Ein weiterer Aspekt der Notfalldarstellung ist das Schauspiel.<sup>133</sup> Das Schauspiel kann im Rahmen dieser Arbeit allerdings nur ansatzweise umgesetzt werden.

<sup>130</sup>Vgl. SCHNEIDER/WOLCKE/BÖHMER: Taschenatlas Notfall & Rettungsmedizin, S. 563.

<sup>131</sup>DEUTSCHES ROTES KREUZ KREISVERBAND KASSEL-WOLFHAGEN E.V.: Notfalldarstellung. [URL: http://www.drk-kassel.de/einsatzdienste/notfalldarstellung](http://www.drk-kassel.de/einsatzdienste/notfalldarstellung) – Zugriff am 15.01.2012.

<sup>132</sup>Vgl. DEUTSCHES ROTES KREUZ E.V. (Hrsg.): Notfalldarstellung für Lehrkräfte im DRK: Lehrunterlage und Medienpaket (Version 1.0). 1. Auflage. Berlin: Deutsches Rotes Kreuz e.V., 2009, S. 315ff.

<sup>133</sup>Vgl. DEUTSCHES ROTES KREUZ E.V.: Notfalldarstellung für Lehrkräfte im DRK: Lehrunterlage und Medienpaket (Version 1.0), S. 90ff.

Weitere Verletzungen sind im Rahmen dieser Arbeit nicht geplant. Das Vitalmodell wird allerdings so gestaltet, dass eine Erweiterung zusätzlicher Verletzungen möglich ist.

### 4.2 Anwender

Das primäre Ziel des Einsatzes während einer Katastrophe ist das Retten von Menschenleben. Um möglichst viele Menschenleben zu retten, wird die Triage eingesetzt.

Diese sollte von allen Einsatzkräften durchgeführt werden können. Die Ausbildung der Einsatzkräfte ist aber in diesem Bereich noch ausbaufähig. Zwar werden Führungskräfte teilweise mit Rollenspielen in diesem Bereich ausgebildet, jedoch nicht die allgemeine Einsatzkraft. Aufgrund der Ressourcen-Knappheit während des Einsatzes ist allerdings davon auszugehen, dass alle Einsatzkräfte für diese Aufgabe eingesetzt werden.

Die Sichtung geschieht in der Regel in Teams, Trupps oder Gruppen und kann daher mit bis zu 12 Einsatzkräften durchgeführt werden. Ein System zum Training solcher Situationen bzw. Aufgaben muss daher von mehreren Einsatzkräften zeitgleich durchgeführt werden.

Um die Sichtung durchzuführen, ist zum Teil zusätzliche Ausrüstung notwendig. Der Umgang mit Ausrüstungsgegenständen muss daher ebenfalls ermöglicht werden.

Zusätzlich hat aus einsatztaktischen Gründen jede Einsatzkraft einen Vorgesetzten, der über den aktuellen Status der Sichtung informiert sein muss. Daher ist sowohl eine Kommunikation mit den Teammitgliedern als auch mit den Führungskräften notwendig.

Der Anwender wird als Einsatzkraft innerhalb der Simulation dargestellt und kann sich physikalisch korrekt innerhalb der dreidimensionalen Welt bewegen.

Die Simulation wird für den Anwender sowohl als Standalone- als auch als Web-Applikation zur Verfügung gestellt.

### 4.3 Triage-Vorgang

Die Durchführung des Triage-Vorgangs ist bisher nur unzureichend in der virtuellen Realität abgebildet. Vor allem die realistische Abfrage der Vitalparameter kann hier

noch weiter ausgebaut werden.

Des Weiteren gibt es kein System, das generisch verletzte Avatare generieren kann und die Vitalparameter abhängig von der Verletzung beeinflusst. Die Darstellung der Verletzungen muss mit einfachen Mitteln realisierbar sein.

Zur Erstellung der Verletzten muss daher ein Verfahren entwickelt werden, welches durch Aktivierung der Verletzung die Vitalparameter beeinflusst und die Verletzung darstellt. Für die Abfrage der Vitalparameter werden realistische Verfahren entwickelt, die den realen Zeitbedarf widerspiegeln. Auch die im Rahmen der Triage eingesetzten Erste-Hilfe-Maßnahmen werden dargestellt.

Das zu entwickelnde System muss mindestens 200 Verletzte und Tote aufnehmen können. Dieses Merkmal wird durch geeignete Game-Engines und Verfahren bei der Generierung der Verletzten erzielt.

## 4.4 Beteiligte einer Katastrophe

Für die Darstellung der Beteiligten (Verletzte, Schaulustige und Einsatzkräfte) werden drei verschiedene Arten von Avataren benötigt. Als Gemeinsamkeit werden grundlegende Eigenschaften festgelegt, die alle Gruppen der Avatare für die Simulation benötigen.

Die Oberflächen der Avatare werden durch texturierte Polygon-Netze repräsentiert. Dieses wird mit aktuell verfügbaren Technologien verknüpft. Des Weiteren benötigen alle Avatare ein Skelett zur Darstellung von Bewegungen. Eine weitere Gemeinsamkeit ist die Bekleidung der Avatare. Alle Avatare brauchen entsprechende Kleidungsstücke. Um den Aufwand der Modellierung zu minimieren, werden vorhandene Softwarelösungen zur Generierung der Avatare bevorzugt.

Zusätzlich werden für die drei Gruppen modifizierte Prozesse entwickelt, damit die entsprechenden Avatare den Anforderungen gerecht werden.

## 4.5 Virtuelle Realität

Der Triage-Vorgang wird in der virtuellen Realität durchgeführt. Es wird hier nicht der Katastrophenfall dargestellt und simuliert, sondern das, was nach dem Katastrophenfall passiert.

Für die Darstellung der Verletzten und der Triage in einer virtuellen Welt werden vorhandene Lösungen (Game-Engines, Avatargeneratoren) untersucht und eingesetzt. Zusätzlich wird der Faktor Lokalität eingebaut. Die virtuelle Realität entspricht der realen Welt, d. h. es wird basierend auf Geo-Informationen-Systemen (GIS) und entsprechenden Daten ein Szenario generiert, welches der realen Welt ähnelt. Dieses bereitet so die eingesetzten Einsatzkräfte noch besser auf einen möglichen Katastrophenfall vor. Die Generierung der virtuellen Städte wird ebenfalls mithilfe vorhandener Produkte durchgeführt. Dabei werden die Produkte analysiert und entsprechende Arbeitsprozesse entwickelt.

# **5 Konzept des Katastrophen-Trainings-Systems**

Ausgehend von der Problematik aus Kapitel 3 und der Planung aus Kapitel 4 wird im Folgenden ein Konzept zur Realisierung der Beteiligten in einer Katastrophe (Einsatzkräfte, Opfer und Schaulustige) entwickelt. Entsprechend ihrer Einsatzgebiete werden verschiedene Anforderungen an die Avatare gestellt. Zusätzlich werden die Ansprüche an das Vitalsystem und die Verletzungen aufgeführt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt dieses Kapitels ist die Auswahl geeigneter Softwaretools zur Darstellung und Generierung von Katastrophensimulationen und Avataren.

## **5.1 Anforderungen des Systems**

Die Aufgaben und Rollen innerhalb einer Katastrophe sind für die Beteiligten unterschiedlich definiert. Von diesen Rollen hängen daher die Anforderungen an die Avatare ab. Ein Opfer hat beispielsweise Verletzungen, eine Einsatzkraft/Helfer muss Aktionen mit Verletzten durchführen und Schaulustige stehen am Rand und betrachten die Situation.

Die Integration der Avatare in die Katastrophensimulation erfordert ein Konzept, das die gesamte Prozesskette, von der Erstellung bis hin zur Steuerung der Avatare, abdeckt. Die Abläufe sind dabei so einfach wie möglich gehalten, um von der anvisierten Nutzergruppe, die Fachanwender mit Grundkenntnissen in der 3D-Modellierung und Animation umfasst, eingesetzt werden zu können.

Basis-Technologien zur Darstellung von virtuellen Welten werden durch geeignete Game-Engines bereitgestellt. Diese Technologien beeinflussen zum Teil die aufgeführten Anforderungen und werden daher im Folgenden zunächst erläutert.

Daraus ergeben sich folgende Anforderungen an die Avatare, die erfüllt sein müssen:

- Auswahl einer geeigneten Game-Engine zur Darstellung von Avataren und virtuellen Welten
- Abbildung eines Vitalmodells und dessen Beeinflussung durch Verletzungen und Erster Hilfe
- Darstellung von Verletzungen und Erster Hilfe
- Optimierte Prozesskette zur Erstellung der Avatare
- Steuerung der Avatare und Interagieren mit Equipment
- Realistische virtuelle Szenarien

## 5.2 3D-Game-Engine

Um ein Computer-Spiel zu erstellen, müssen verschiedene Kriterien erfüllt werden. Diese können durch den Einsatz von Laufzeitumgebungen bereitgestellt werden. Die sog. Game-Engines beinhalten die Spiellogik und die visuelle Darstellung. Es existieren viele Beispiele, um Game-Engines mit verschiedenen Komponenten und Programmiersprachen selbst zu erstellen (vgl. *Game Programming Gems*<sup>134</sup> oder *Beginning Game Programming*<sup>135</sup>). Durch immer schneller fortschreitende Technologien ist dies allerdings ein schwieriger Prozess und bedarf großer Personal-Ressourcen, um die Engine an den technologischen Fortschritt anzupassen. Exemplarisch kann an dieser Stelle der Grafikkartenhersteller NVIDIA genannt werden, der in fast monatlich auftretenden Neuerungen neue bzw. aktualisierte Treiber mit neuen Features für ihre GeForce-Grafikkarten veröffentlicht.<sup>136</sup>

Die Spielindustrie fördert maßgeblich den Einsatz von Game-Engines. Mittlerweile bieten große Spielehersteller wie die Crytek GmbH und Unreal Technology Game-Engines als Zweitprodukt an. Neben ihren selbst entwickelten Bestsellerlisten-Games

---

<sup>134</sup>DELOURA, M./DELOURA, M.A.: *Game Programming Gems*. Rockland, Mass.: Charles River Media, 2000.

<sup>135</sup>HARBOUR, J.S.: *Beginning Game Programming*. 3. Auflage. Boston, Mass.: Course Technology, 2009.

<sup>136</sup>Vgl. NVIDIA GMBH: NVIDIA Treiber Downloads. (URL: <http://www.nvidia.de/Download/Find.aspx?lang=de>) – Zugriff am 31.05.2012.

können sie zusätzlich Einnahmen aus Lizenzgebühren für die Nutzung ihrer Engines erzielen.

Eine Basisfunktionalität bzw. der Bestandteil jeder Game-Engine ist eine Grafik-Engine. Diese kapselt die Grafikfunktionalität und bietet eine Schnittstelle zum komfortablen Programmieren.<sup>137</sup> Da die Grafik auf der Grafikkarte berechnet wird, muss die Grafikkarte die Funktionalität unterstützen und bereitstellen. Die Grafikkartenhersteller orientieren sich dabei an den Standards von Microsoft DirectX<sup>138</sup> und OpenGL<sup>139</sup> (vgl. Grafikkarte AMD Radeon™ HD 6950 - Technische Daten<sup>140</sup> und NVIDIA GeForce GTX 690 - Technische Daten<sup>141</sup>). Einen dieser Standards muss die Game-Engine implementieren und die entsprechende Funktionalität über eine Schnittstelle bereitstellen.

Damit Avatare in Katastrophen simuliert werden können, müssen diese zunächst in einer Game-Engine zur Verfügung stehen. Ein wichtiger Punkt ist es zunächst, die am Fachgebiet entwickelten Avatare nach Prozesskette TÜMMLER, JÖRN<sup>142</sup> einsetzen zu können. Dafür ist eine Schnittstelle bzw. ein geeignetes Format zwischen 3D-Software-Paketen wie Autodesk 3D Studio MAX (kurz 3DS Max)<sup>143</sup>, Autodesk Maya<sup>144</sup>, Autodesk MotionBuilder<sup>145</sup> sowie Blender<sup>146</sup> und der Game-Engine notwendig. Das Format muss ein langlebiges, weitverbreitetes und offenes Format sein, um eine längere Nutzbarkeit zu gewähren. Des Weiteren muss dieses Format Merkmale für Mesh, Animationen, Morphing und ein SDK für Adaptierbarkeit beinhalten. Aufgrund der Anforderungen bieten sich hier die Formate FBX (Filmbox) von

---

<sup>137</sup>Vgl. WIGARD, SUSANNE: XNA Game Studio Express: Spieleprogrammierung für PC und xbox. 2. Auflage. Heidelberg: mitp-Verlag, 2008, S. 130 ff.

<sup>138</sup>MICROSOFT GMBH: DirectX Developer Center. (URL: <http://msdn.microsoft.com/de-de/directx>) – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>139</sup>THE KHRONOS GROUP: OpenGL Overview. (URL: <http://www.opengl.org/about>) – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>140</sup>ADVANCED MICRO DEVICES, INC.: Grafikkarte AMD Radeon™ HD 6950 - Technische Daten. 2012 (URL: <http://www.amd.com/de/products/desktop/graphics/amd-radeon-hd-6000/hd-6950/Pages/amd-radeon-hd-6950-overview.aspx>) – Zugriff am 31.05.2012.

<sup>141</sup>NVIDIA GMBH: NVIDIA GeForce GTX 690 - Technische Daten. (URL: <http://www.nvidia.de/object/geforce-gtx-690-de.html>) – Zugriff am 31.05.2012.

<sup>142</sup>Vgl. TÜMMLER, JÖRN: Avatare in Echtzeitsimulationen, S. 82 ff.

<sup>143</sup>AUTODESK INC.: Autodesk 3ds Max-Produkte.

<sup>144</sup>AUTODESK INC.: Autodesk Maya.

<sup>145</sup>AUTODESK INC.: Autodesk MotionBuilder. (URL: <http://www.autodesk.de/motionbuilder>) – Zugriff am 01.06.2011.

<sup>146</sup>BLENDER FOUNDATION: Features & Gallery.



Autodesk<sup>147</sup>, COLLADA<sup>148</sup> (COLLABorative Design Activity) der Khronos Group, CAL3D<sup>149</sup> (Character Animation Library) und das von TÜMMLER, JÖRN entwickelte Avatar-Format<sup>150</sup> an.

Tabelle 8 zeigt eine Übersicht der Formate mit ihren Merkmalen.

**Tabelle 8:** 3D-Grafikformate und ihre Merkmale

	FBX	COLLADA	CAL3D	Avatar
Mesh	x	x	x	x
Animationen	x	x	x	x
Morphing/Blendshapes	x	x	x	x
Materialien	x	x	x	x
Quelloffen	-	x	x	x
SDK verfügbar	x	x	x	x
Entwicklungsstand	aktuell	aktuell	Letztes Update 2007	Internes Format
Import/Export 3DS Max	x / x	x / x	- / x	- / x <sup>151</sup>
Import/Export Maya	x / x	x / x	- / x	- / -
Import/Export Motionbuilder	x / x	- / x	- / x	- / -
Import/Export Blender	- / x	x / x	- / x	- / x

CAL3D wurde im Juni 2006 das letzte Mal offiziell aktualisiert und ist daher auf längere Sicht problematisch, da Updates und Änderungen manuell getätigt werden müssen. Da das Avatar-Format auf CAL3D aufbaut, ist auch dieses Format immer manuell an Änderungen anzupassen, sodass COLLADA und FBX als Austauschformat verwendet werden.

Um Bewegungen der Avatare zu ermöglichen, sind Animationen notwendig. Die erforderlichen typischen Animationstechniken (vgl. Abschnitt 2.1.3) für Avatare wie Bone-based-Animationen und Morph-target-Animationen müssen von der Game-Engine bereitgestellt werden.

Ein Standard, der sich bei der Animation von Gesichtern etabliert hat, ist das Facial Action Coding System (FACS).<sup>152</sup> Bei dem Facial Action Coding System wird eine Liste von Zielen vorgegeben, die eine typische Mimik des Gesichts repräsentiert. Jedes

<sup>147</sup>Vgl. AUTODESK INC.: Autodesk FBX. (URL: <http://www.autodesk.de/fbx>) – Zugriff am 01.06.2011.

<sup>148</sup>THE KHRONOS GROUP: COLLADA - Digital Asset and FX Exchange Schema. (URL: <http://collada.org/>) – Zugriff am 01.06.2011.

<sup>149</sup>DESMECHT LAURENT/LOIC DACHARY: Cal3D - 3D character animation library. (URL: <http://gna.org/projects/cal3d/>) – Zugriff am 01.06.2011.

<sup>150</sup>Vgl. TÜMMLER, JÖRN: Avatare in Echtzeitsimulationen, S. 118 ff.

<sup>151</sup>Über eigenen Exporter oder CAL3D-Exporter.

<sup>152</sup>EKMAN, P./FRIESEN, W.V./HAGER, J.C.: The Facial Action Coding System. 2. Auflage. London: Weidenfeld & Nicolson, 2002.

Ziel hat einen eindeutigen Code, der zu einem bestimmten Prozentsatz angesprochen wird. Beispiele für die Ziele sind:

- Heben der Augenbraue innen
- Heben des oberen Augenlides
- Kussmund
- Blinzeln

Typischerweise werden diese Animationen mit Morph-targets dargestellt.

Um die Logik des Spiels bzw. der Simulation zu erstellen, bieten Game-Engines typischerweise zwei Varianten an. Zum einen kann die Programmierung in einer höheren Programmiersprache wie C++ oder Java geschehen. Zum anderen kann die Game-Engine die Programmierung über eine Skriptsprache anbieten. Der Vorteil von Skriptsprachen sind beispielsweise Einfachheit und leichtere Entwicklung.<sup>153</sup> Skriptsprachen sind oft auf einem höheren Programmier-Level angesiedelt, sodass keine Neu-Kompilierung bei Änderungen notwendig ist. Per Skriptsprache kann nicht nur die Logik des Spiels bzw. der Simulation gesteuert, sondern auch zusätzliche Komponenten erstellt werden. Für beide Verfahren benötigt die Game-Engine eine Schnittstelle (API) für den Anwender. Bei der Integration des Vitalmodells (siehe Kapitel 6) kann eines der beiden Verfahren eingesetzt werden. Über die Schnittstelle muss beispielsweise eine Zeitfunktion bereitgestellt werden, sodass das Vitalmodell die Vitalparameter entsprechend berechnen kann. Des Weiteren können über die Schnittstelle weitere externe Komponenten angesprochen und genutzt werden. Sollte die Funktionalität nicht verfügbar sein, kann diese durch den Einsatz der externen Komponenten bereitgestellt werden.

Für die akustische Wahrnehmung ist das Abspielen von Audio-Dateien notwendig. In 3D-Simulationen ist dabei besonders der 3D-Sound wichtig. 3D-Sound bedeutet die Wiedergabe des Klangs oder Tons von einer bestimmten Position im 3D-Raum.<sup>154</sup> Je weiter entfernt die Quelle des Tons ist, desto leiser ist beispielsweise die Lautstärke. Das Laden der Töne oder Klänge muss durch Dateien und Daten-Ströme möglich sein.

---

<sup>153</sup>Vgl. ROBBINS, ARNOLD/BEEBE, NELSON H.F.: Klassische Shell-Programmierung. Beijing [u.a.]: O'Reilly, 2006, S. 9.

<sup>154</sup>Vgl. LENGYEL, ERIC: Game Engine Gems 2. Natick, Mass.: Peters, 2011, S. 357.

Über Daten-Ströme kann auch auf Webservices zugegriffen werden, die beispielsweise ein Text-to-Speech-System anbieten.

Für die Navigation in der Simulation sind physikalische Rahmenbedingungen unabdingbar. Die Eigenschaften von Gegenständen wie Abmessungen, Masse und die damit zusammenhängende Gravitation müssen von der Game-Engine bereitgestellt werden. Weiterhin ist eine Kollisionserkennung für die Navigation wichtig, um zum Beispiel nicht durch Gegenstände oder Gebäude laufen zu können.

Zur Realisierung einer Gruppenaufgabe für Einsatzkräfte ist weiterhin eine Netzwerkkommunikation erforderlich. Diese ermöglicht es, mehrere Einsatzkräfte gleichzeitig an einer Lernsimulation teilnehmen zu lassen und die Aufgaben in dieser entsprechend gemeinsam erfüllen zu können. Es muss gewährleistet werden, dass Teilnehmer Aktionen und Positionen der anderen Teilnehmer sehen. Weiterhin sollen die Teilnehmer andere Teilnehmer nicht nur visuell, sondern auch akustisch wahrnehmen können. Die Vernetzung muss sowohl über LAN (Lokal Area Network) als auch per Internet möglich sein. Die Game-Engine muss die zu übertragenden Netzwerkprotokolle UDP (User Datagram Protocol), für unsichere Übertragungen, und TCP (Transmission Control Protocol), für sichere Übertragungen, zur Verfügung stellen.

Über das Netzwerk sollen auch Web-Anfragen über das HTTP (Hypertext Transfer Protocol) gestellt werden können. Typische Operationen sind dabei die HTTP-POST- und HTTP-GET-Methode, worüber beispielsweise Formulardaten gesendet und verarbeitet werden können.

Die Integration der Lernsimulation in das World-Wide-Web (WWW) und das damit verbundene Ermöglichen von E-Learning ist eine weitere Anforderung für die Auswahl der Game-Engine. Um Materialien für Lernende bereitzustellen, werden typischerweise Lernplattformen, auch Learning Management System oder Virtual Learning Environment, wie moodle<sup>155</sup> oder ilias<sup>156</sup> eingesetzt. Diese ermöglichen Lernenden ein Selbststudium, da Materialien und Aufgaben von den Lehrern bereitgestellt werden können. Exemplarisch kann hier das E-Learning-Portal zum Vorbeugenden Brandschutz *www.e-brandschutz.de* genannt werden, das auf Basis der

---

<sup>155</sup>MOODLE: About Moodle. (URL: [http://docs.moodle.org/22/en/About\\_Moodle](http://docs.moodle.org/22/en/About_Moodle)) – Zugriff am 14.05.2012.

<sup>156</sup>ILIAS: About Ilias. (URL: [http://www.ilias.de/docu/goto\\_docu\\_cat\\_580.html](http://www.ilias.de/docu/goto_docu_cat_580.html)) – Zugriff am 04.06.2012.

E-Learning-Plattform moodle entwickelt wurde.<sup>157</sup>

Auch die Lernsimulationen sollen auf einem Learning Management System bereitgestellt werden. Dazu ist ebenfalls die Möglichkeit der Kommunikation von Game-Engine und Learning Management System notwendig, beispielsweise das Auslesen der Benutzer-ID oder das Setzen von Punkten für die erfolgreiche Teilnahme an der Simulation. Dies kann, wie zuvor erwähnt, über HTTP-Operationen und WWW-Abfragen bereitgestellt werden. Da verschiedene Browser für das Surfen im Internet zur Verfügung stehen, sollen möglichst viele Browser die mit der Game-Engine generierte Lernsimulation unterstützen.

Am Markt existiert eine Vielzahl an Game-Engines. Das Spielentwicklungsportal „devmaster.net“ listet derzeit ungefähr 350 Engines.<sup>158</sup> An dieser Stelle sollen nicht alle Game-Engines analysiert werden, sondern es wird sich auf gängige kommerzielle Produkte wie CryEngine3<sup>159</sup>, Unreal Engine 3<sup>160</sup> und Unity 3D<sup>161</sup> sowie die quelloffenen Produkte Delta3D<sup>162</sup>, OGRE<sup>163</sup> und die Eigenentwicklung ICS (Interactive Content System)<sup>164</sup> beschränkt.

In den folgenden Abschnitten werden die Merkmale der einzelnen Game-Engines vorgestellt. Im Anschluss werden die gefundenen Merkmale gegenübergestellt.

## CryEngine3

Die CryEngine3, entwickelt von der deutschen Firma CryTek, ist eine hochspezialisierte Game-Engine für „Blockbuster“-Spiele. Mit der CryEngine3 wurde unter

---

<sup>157</sup>Vgl. SIEMON, ANDREAS/EHRLICH, DIRK/WLOKA, DIETER: E-Brandschutz - Vorbeugender Brandschutz mit der E-Learning-Plattform moodle. In: MoodleMoot 2010, 3 2010.

<sup>158</sup>DEVMASER.NET: Engines. <URL: <http://devmaster.net/devdb/engines>> – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>159</sup>CRYTEK GMBH: Crytek MyCryEngine. <URL: <http://mycryengine.com/>> – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>160</sup>EPIC GAMES, INC.: Game Engine Technology by Unreal. <URL: <http://www.unrealengine.com/>> – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>161</sup>UNITY TECHNOLOGIES: Unity - Game Engine. <URL: <http://unity3d.com/>> – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>162</sup>ERIC JOHNSON: Delta 3D - Open Source Gaming & Simulation Engine . <URL: <http://delta3d.org/>> – Zugriff am 02.06.2012.

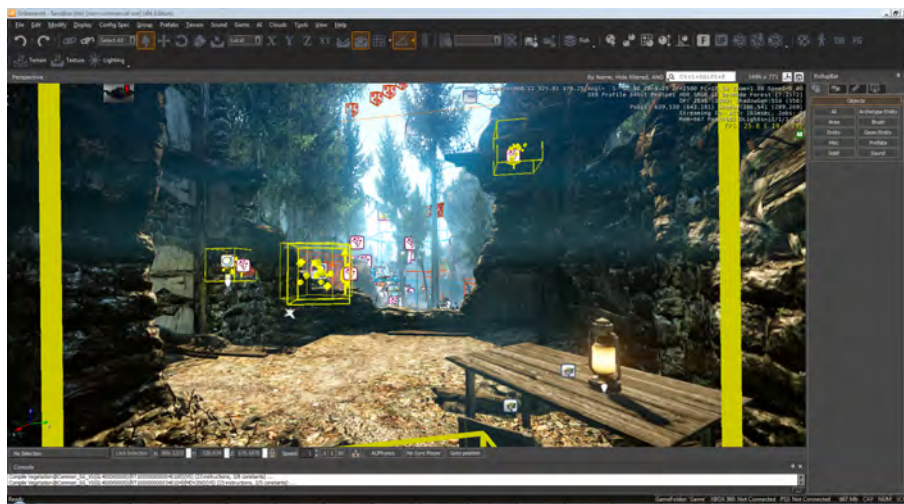
<sup>163</sup>TORUS KNOT SOFTWARE LTD: OGRE - Open-Source 3D Graphics Engine. <URL: <http://www.ogre3d.org>> – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>164</sup>CHAOUCH, KAIES; WLOKA, DIETER/HOLBEIN, LARS (Hrsg.): Kap. ICS: An interactive content system for creating simulations in virtual environments. In: Tagungsband G-DAY: Zweiter Grafiktag in Kassel, Juli 2007. 1. Auflage. Shaker, 2007.

anderem Crysis 2 produziert, welches den Deutschen Computerspielpreis 2012 in der Kategorie „Bestes deutsches Spiel“ erhielt.<sup>165</sup> Die Begründung der Fachjury lautete:

„Mit Crysis 2 haben erstmalig Entwickler aus Deutschland technologisch, qualitativ und ökonomisch weltweit Publikum und Fachwelt überzeugt und begeistert. Eine eigene Technologie, die weltweit auch im Bereich Serious Games eingesetzt wird, eine mehr als Hollywood-Reife Präsentation, eine grafische, akustische und spielerische Qualität auf höchstem Niveau überzeugten die anwesenden Jurymitglieder. Eine mehr als beeindruckende Grafik, die ihresgleichen im Gamesbereich sucht, nimmt einen mit in das detailreich nachgebildete New York.“<sup>166</sup>

Die Engine beinhaltet den Editor Sandbox (vgl. Abbildung 15), der den Entwicklern die volle Funktionalität der CryEngine anbietet.<sup>167</sup> Einige Beispielfunktionalitäten sind Live Create™ Straßen und Fluss-Tools oder ein Fahrzeug-Creator.<sup>168</sup>



**Abbildung 15:** Sandbox der CryEngine 3 mit geladenem Projekt Forest.cry

Die Game-Engine bietet eine sehr gute Grafik-Engine mit vielen speziellen Zusatzeffekten, beispielsweise Partikelschatten oder lokale Reflektionen in Echtzeit

<sup>165</sup>DEUTSCHER COMPUTERSPIELPREIS: Preisträger 2012. (URL: <http://www.deutscher-computerspielpreis.de/164.0.html>) – Zugriff am 20.05.2012.

<sup>166</sup>DEUTSCHER COMPUTERSPIELPREIS: Preisträger 2012.

<sup>167</sup>TRACY, DAN/TRACY, SEAN: CryEngine 3 Cookbook. Birmingham, U.K.: Packt Pub, 2011.

<sup>168</sup>CRYTEK GMBH: CryEngine - Technology - Overview. (URL: <http://mycryengine.com/index.php?conid=2>) – Zugriff am 02.06.2012.

und unterstützt den Standard DirectX 11. Für die CryEngine wurde eine eigene Physik-Engine geschrieben, die nahezu mit jedem Objekt (Gebäude, Bäume, Eigenschaften) verknüpft werden kann. Sowohl Gravitation als auch Kollisionen werden unterstützt. Darüber hinaus bietet die Physik-Engine auch prozedurale Deformation, d. h. realistische Veränderungen von Objekten. Avatare können mit dem Character Animation System animiert werden. Dabei wird sowohl die Bone-based- als auch die Morph-target-Animation für eine Gesichtsanimation unterstützt.<sup>169</sup>

Multiplayer-Spiele und damit die Unterstützung von Netzwerkfunktionalität können erstellt werden.<sup>170</sup> Ein direkter HTTP-Request ist über C++ möglich.

Die CryEngine bietet eine native C++ Programmierschnittstelle und das Skripten per Skriptsprache Lua<sup>171</sup> an.<sup>172</sup>

Das Sound-System der CryEngine bietet neben der 3D-Wiedergabe von Audio-Dateien auch einen internen Editor oder den Support für eine 7.1 Lautsprecherkonfiguration an.<sup>173</sup> Das Laden von Streams kann über die Netzwerkkomponente realisiert werden.

Die CryEngine hat ein eigenes Dateiformat für Objekte, Materialien, Texturen sowie Animationen und bietet offiziell einen Exporter für 3DS Max an. Dieses ist auch die bevorzugte 3D-Applikation für das Entwickeln von Objekten. Für Blender, Maya und andere Tools haben Entwickler der crydev.net Community Plugins geschrieben.<sup>174</sup>

Mit der CryEngine lassen sich Titel für Windows, Mac OS X, Xbox360, Playstation 3 und Nintendo Wii erstellen. Seit 2012 können auch Titel für Apple IOS erzeugt werden.<sup>175</sup> Eine Produktion von Online-Games via Webplayer ist zurzeit in Arbeit.<sup>176</sup>

---

<sup>169</sup>CRYTEK GMBH: CryEngine - Technology - Overview.

<sup>170</sup>CRYDEV.NET: Technical Documentation. (URL: <http://freedk.crydev.net/display/SDKDOC4/Home>) – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>171</sup>LABLUA DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE OF PUC-RIO: About Lua. (URL: <http://www.lua.org>) – Zugriff am 02.05.2011.

<sup>172</sup>CRYDEV.NET: Technical Documentation.

<sup>173</sup>CRYTEK GMBH: CryEngine - Technology - Overview.

<sup>174</sup>CRYDEV.NET: Wiki Terminology. (URL: <http://www.crydev.net/wiki/index.php/Terminology>) – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>175</sup>CRYTEK GMBH: Crytek MyCryEngine.

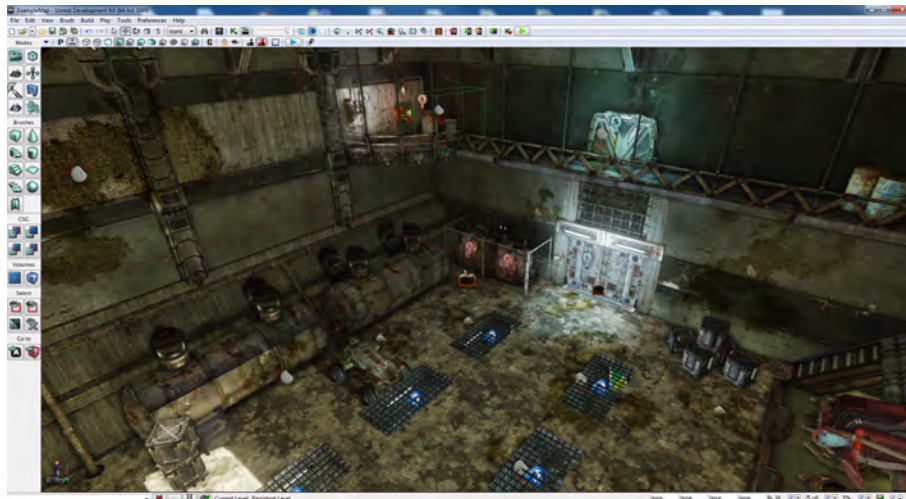
<sup>176</sup>BROWSERGAMES.DE: Tour Golf Online: 'Next-Gen' Online-Golfspiel für 2012 angekündigt. (URL: <http://tour-golf-online.browsergames.de/news/3075/1/tour-golf-online-next-gen-online-golfspiel-fuer-2012-angekuendigt.html>) – Zugriff am 02.06.2012.

Die Entwicklung von nicht-kommerziellen Spielen oder das Nutzen innerhalb Universitäten ist aktuell kostenlos.<sup>177</sup> Für das Herausbringen kommerzieller Spiele fallen Lizenzgebühren an.

### Unreal Engine 3

Die Unreal Engine 3, auch Unreal Development Kit (UDK) genannt, wurde von der Epic Games Inc. entwickelt und ist eine mehrfach ausgezeichnete Game-Engine.<sup>178</sup> Die Unreal Engine ist ähnlich wie die CryEngine auf professionelle Game-Entwickler ausgerichtet. Mit der Unreal Engine wurden unter anderem die Spiele „Batman: Arkham City“, „Mass Effect 3“ oder „Alice 2: Return to Madness“ entwickelt. Auch im Bereich Training und Simulation wurden Serious Games entwickelt, beispielsweise „HumanSim“ oder „Zero Hour“.<sup>179</sup>

Die Engine bietet einen Editor (UnrealEd) zur Erstellung und Aufbereitung der Szenen. Er beinhaltet eine Vielzahl von Tools für eine professionelle Game-Entwicklung, beispielsweise einen Fast Game Preview. Abbildung 16 zeigt den Editor UnrealEd mit geladenem ExampleMap.



**Abbildung 16:** Editor UnrealEd mit geladenem Projekt ExampleMap

<sup>177</sup>CHIP ONLINE: CryEngine 3: Gratis Spiele mit Crysis-2-Grafik bauen. (URL: [http://www.chip.de/news/CryEngine-3-Gratis-Spiele-mit-Crysis-2-Grafik-bauen\\_54993645.html](http://www.chip.de/news/CryEngine-3-Gratis-Spiele-mit-Crysis-2-Grafik-bauen_54993645.html)) – Zugriff am 01.09.2011.

<sup>178</sup>EPIC GAMES, INC.: Game Engine Technology by Unreal.

<sup>179</sup>EPIC GAMES, INC.: Video Game Engine Showcase. (URL: <http://www.unrealengine.com/showcase/>) – Zugriff am 02.06.2012.

Die Engine unterstützt die Grafikstandards DirectX und OpenGL.<sup>180</sup> Darüber hinaus können über das interne Unreal Rendering System verschiedene Effekte hinzugefügt werden.

Die Unreal Engine unterstützt das von NVIDIA entwickelte PhysX-System. Des Weiteren gibt es eigene Physikimplementierungen, beispielsweise für Fahrzeuge oder zerstörbare Umgebungen.<sup>181</sup>

Bei der Animation von Avataren wurde ebenfalls ein eigenes System (Unreal Animation System) entwickelt. Es erlaubt sowohl Bone-based- als auch Morph-target-Animationen. Animationen können überblendet und mit Physik kombiniert werden.<sup>182</sup> Die Engine hat eine integrierte Netzwerkschnittstelle und ermöglicht damit einen Multiplayermodus. Das Verbinden zu Webservern ist über eine Schnittstelle möglich.<sup>183</sup>

Die Logik kann über C/C++ oder über die eigens entwickelte Skript-Sprache UnrealScript geschehen. UnrealScript ist eine Objekt-orientierte Programmiersprache und syntaktisch ähnlich der Programmiersprache Java.<sup>184</sup>

3D-Sound ist ebenfalls verfügbar. Das Laden von Audio-Dateien über einen Datenstrom ist mit dem Audio System möglich. Die Unreal Engine stellt ein internes Text-To-Speech-System bereit.<sup>185</sup>

Als 3D-Format wird bei der Unreal Engine Autodesk FBX eingesetzt.<sup>186</sup> Dies hat den Vorteil, dass alle namhaften 3D-Modellierungstools (3DS Max, Maya, Blender, etc.) unterstützt werden.

## Unity 3D

Unity 3D entwickelt von Unity Technologies ist, im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Engines, als Game-Engine für Kunden entwickelt worden und nicht als Ableger der veröffentlichten Spiele. Die Unity Game-Engine wurde ebenfalls bereits

---

<sup>180</sup>DEVMASTER.NET: Unreal Development Kit (UDK). (URL: <http://devmaster.net/devdb/engines/unreal-development-kit-udk>) – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>181</sup>EPIC GAMES, INC.: Unreal Engine 3 Game Development Tools. (URL: <http://www.unrealengine.com/features>) – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>182</sup>EPIC GAMES, INC.: Unreal Engine 3 Game Development Tools.

<sup>183</sup>EPIC GAMES, INC.: Unreal Developer Network. (URL: <http://udn.epicgames.com/Main/WebHome.html>) – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>184</sup>EPIC GAMES, INC.: Unreal Engine 3 Game Development Tools.

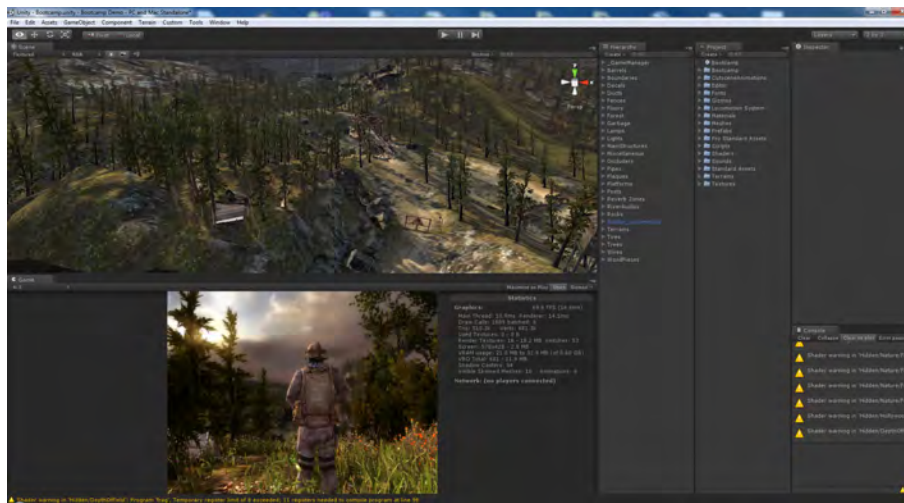
<sup>185</sup>EPIC GAMES, INC.: Unreal Developer Network.

<sup>186</sup>EPIC GAMES, INC.: Unreal Developer Network.



mit Preisen ausgezeichnet und ist laut Game Developer Magazine neben der Unreal Engine die beliebteste Game-Engine.<sup>187</sup> Veröffentlichte Titel mit Unity 3D sind beispielsweise Tiger Woods PGA Tour Online oder Battlestar Galatica Online.<sup>188</sup>

Unity 3D liefert mit der Game-Engine auch einen Editor aus, den Unity Editor (siehe Abbildung 17). Der Unity Editor integriert alle Möglichkeiten der Game-Engine und ermöglicht die Entwicklung und den Aufbau der Szenen. Der Editor ist durch Plugins erweiterbar. Die Standards DirectX und OpenGL werden unterstützt.<sup>189</sup>



**Abbildung 17:** Unity Editor mit geladenem Projekt Bootcamp

Auch Unity erlaubt mit dem eingebauten Grafik-System weitere Effekte wie Post-Processing Effekte oder Level of Detail Unterstützung.<sup>190</sup>

Unity integriert die NVIDIA PhysX Technologie. Dadurch sind Kollisionserkennungen und physikalische Eigenschaften von Gegenständen gewährleistet.<sup>191</sup> Unity unterstützt zunächst nur Bone-based-Animation. Über die Programmierschnittstelle ist allerdings auch eine Morph-target-Animation möglich.<sup>192</sup> Des Weiteren ist über den Unity-Asset-Store eine Erweiterung verfügbar, die auch den Export von Morph-

<sup>187</sup>DELOURA, MARK: Game Engine Survey 2011. In: Game Developer Magazine, 05 2011.

<sup>188</sup>UNITY TECHNOLOGIES: Unity - Game Engine.

<sup>189</sup>DEVMASER.NET: Unity. [URL: http://devmaster.net/devdb/engines/unity](http://devmaster.net/devdb/engines/unity) – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>190</sup>UNITY TECHNOLOGIES: UNITY - Unity 3 Engine Features. [URL: http://unity3d.com/unity/engine/](http://unity3d.com/unity/engine/) – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>191</sup>UNITY TECHNOLOGIES: UNITY - Unity 3 Engine Features.

<sup>192</sup>UNIFYCOMMUNITY: MeshMorpher. [URL: http://unifycommunity.com/wiki/index.php?title=MeshMorpher](http://unifycommunity.com/wiki/index.php?title=MeshMorpher) – Zugriff am 02.03.2011.

targets aus 3DS Max und Blender erlaubt.<sup>193</sup> Unity unterstützt Multiplayer-Spiele und kann diese über LAN und Internet verfügbar machen. Eine Netzkommunikation über TCP und UDP ist möglich. Auch HTTP-Abfragen an Webseiten können über die interne Programmierschnittstelle gestellt werden.<sup>194</sup> Unity kapselt die interne Funktionalität ab. Es ist daher nicht möglich, Veränderungen am Kern des Systems vorzunehmen. Allerdings bietet Unity Schnittstellen zum Editor und eine große Bandbreite an Funktionen an, um den Entwicklern möglichst viele Funktionalitäten bereitzustellen. Da keine native Programmierung möglich ist, stellt Unity verschiedene Skript-Sprachen (C#, JavaScript und den Pythondialekt Boo) zum Programmieren der Logik zur Verfügung. Intern verwendet Unity die .NET Plattform Mono.<sup>195</sup> Diese ermöglicht ein zusätzliches Spektrum an Funktionalität. Zur Wiedergabe von Klängen oder Tönen nutzt Unity die Audio-Engine FMOD.<sup>196</sup> Mit ihr kann 3D-Sound wiedergegeben werden. Das Laden von Dateien und Daten-Strömen ist mit der Unity-Audio-Engine möglich. Unity nutzt wie Unreal intern das 3D-Format Autodesk FBX. Dieses Format wird von allen gängigen 3D-Modellierungstools unterstützt.

## Delta 3D

Die Open-Source-3D-Engine Delta 3D ist eine Sammlung von Open-Source-Bibliotheken wie OpenSceneGraph, Open Dynamics Engine oder die Character Animation Library.<sup>197</sup> Die Game-Engine ist für Windows, Linux und MacOS verfügbar. Delta3D bietet mit STAGE (vgl. Abbildung 18) einen Editor zum Aufbau und Erstellen von Szenen. Zur Darstellung der Grafik wird die Grafik-Engine OpenSceneGraph eingesetzt. Diese baut vollständig auf OpenGL auf. Eine Unterstützung von DirectX ist daher nicht möglich. Zur Umsetzung der physikalischen Elemente nutzt Delta3D primär die Open Dynamics Engine.<sup>198</sup> Über das interne Projekt Simulation-Core kann auch NVIDIA PhysX integriert werden. Delta 3D bietet über einen Physik Abstraktions Layer (PAL) eine standardisierte Schnittstelle an, über die verschiedene

---

<sup>193</sup>CHRIS WEST: Welcome to MEGAFIERS. (URL: [http://www.west-racing.com/mf/?page\\_id=2](http://www.west-racing.com/mf/?page_id=2)) – Zugriff am 13.12.2011.

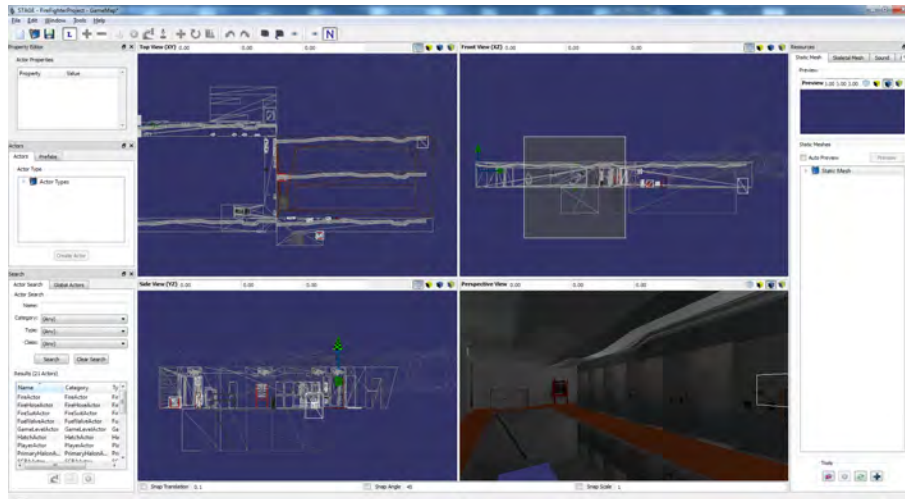
<sup>194</sup>UNITY TECHNOLOGIES: UNITY - Unity 3 Engine Features.

<sup>195</sup>UNITY TECHNOLOGIES: UNITY - Unity 3 Engine Features.

<sup>196</sup>UNITY TECHNOLOGIES: UNITY - Unity 3 Engine Features.

<sup>197</sup>ERIC JOHNSON: Delta 3D - Features. (URL: <http://www.delta3d.org/article.php?story=20051209133127695&topic=docs>) – Zugriff am 02.06.2012.

<sup>198</sup>ERIC JOHNSON: Delta 3D - Features.



**Abbildung 18:** Editor STAGE mit geladenem Projekt Firefighter

Physik-Bibliotheken genutzt werden können.<sup>199</sup> Animationen von Gegenständen werden über die Bibliothek OpenSceneGraph realisiert. Die Animation von Avataren geschieht durch die Character Animation Library (CAL3D). CAL3D unterstützt Bone-based- und Morph-target-Animationen. Innerhalb von Delta 3D ist allerdings primär nur Bone-based-Animation verfügbar. Über die API kann aber auch das Morph-target-Animationssystem angesprochen werden. Eine Verknüpfung von beiden Animationsarten ist in Delta 3D nur über Software-Rendering möglich. Ist das Hardware-unterstützte Rendering eingeschaltet, kann keine Vertex-based Animation ausgeführt werden. Die Netzwerkunterstützung wird durch die Game Networking Engine (GNE) realisiert. Diese ermöglicht ein Multiplayer Game-Design und bietet TCP und UDP Kommunikation an.<sup>200</sup> HTTP-Abfragen können über die integrierte Boost Bibliothek durchgeführt werden.<sup>201</sup> Da Delta 3D quelloffen ist, kann auf die Kernschnittstelle über die Programmiersprache C++ zugegriffen werden. Des Weiteren ist es möglich über das Boost Python Paket<sup>202</sup> die Skripting-Sprache Python zu nutzen. Für das Kern-API sind fast alle Funktionen per Skripting verfügbar. Fehlende können bei Bedarf selbst hinzugefügt werden. Das Audio-System wird

<sup>199</sup>ERIC JOHNSON: Delta 3D - What is Simulation Core? (URL: <http://www.delta3d.org/article.php?story=20090818163549896&topic=news>) – Zugriff am 30.01.2011.

<sup>200</sup>ERIC JOHNSON: Delta 3D - Features.

<sup>201</sup>CHRISTOPHER M. KOHLHOFF: boost Examples. (URL: [http://www.boost.org/doc/libs/1\\_38\\_0/doc/html/boost\\_asio/examples.html](http://www.boost.org/doc/libs/1_38_0/doc/html/boost_asio/examples.html)) – Zugriff am 26.09.2010.

<sup>202</sup>DAVE ABRAHAMS: Boost Python. (URL: [http://www.boost.org/doc/libs/1\\_38\\_0/libs/python/doc/index.html](http://www.boost.org/doc/libs/1_38_0/libs/python/doc/index.html)) – Zugriff am 21.11.2010.

durch Creatives OpenAL realisiert. Damit kann 3D-Sound wiedergegeben werden. Es besteht die Möglichkeit, Audio-Dateien zu laden und Audio-Streams wiederzugeben. Da für das Rendering OpenSceneGraph genutzt wird, ist man auf die Exporter von OpenSceneGraph angewiesen. Delta 3D nutzt OpenSceneGraph in der Version 2.x und muss entsprechend diese Exporter nutzen. Es existieren Exporter für 3DS Max und Blender. Maya wird in der Version 2.x nicht unterstützt. Das Erstellen von Avataren ist durch CAL3D realisiert. Es muss daher dieser Exporter genutzt werden. Auch dieser ist nur für 3DS Max oder Blender verfügbar und wird aktuell nicht weiterentwickelt.<sup>203</sup>

## Object-Oriented Graphics Rendering Engine

Im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Game-Engines ist die Object-Oriented Graphics Rendering Engine (OGRE) primär keine Game-Engine, kann jedoch dazu genutzt werden, Spiele zu entwickeln. OGRE bietet auch Tools zum Erstellen einer Szene. Der Ogitor (siehe Abbildung 19) ist ein *What You See Is What You Get* (WYSWYG) Editor und kann via Plugins ausgebaut werden. OGRE unterstützt unter anderem die Betriebssysteme Windows, Linux und Mac OSX.<sup>204</sup> Die Grafik-

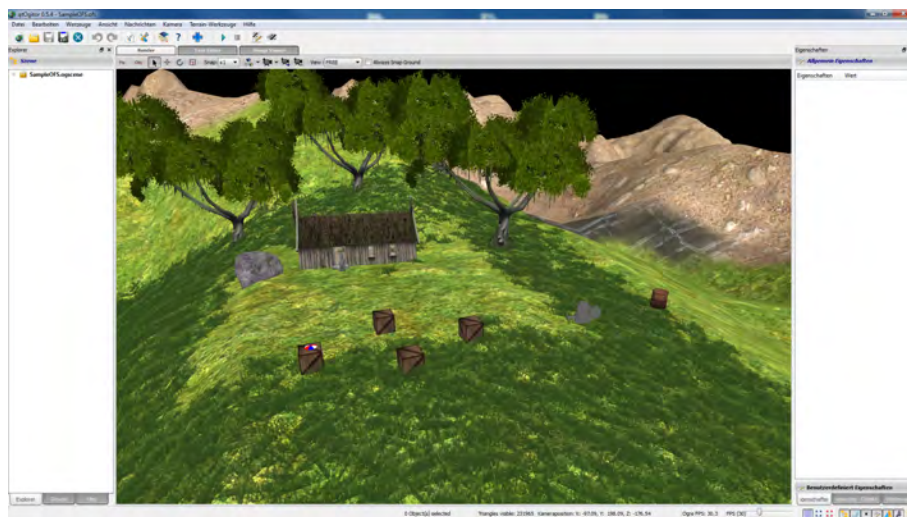


Abbildung 19: Editor Ogitor mit geladenem Projekt SampleOFS

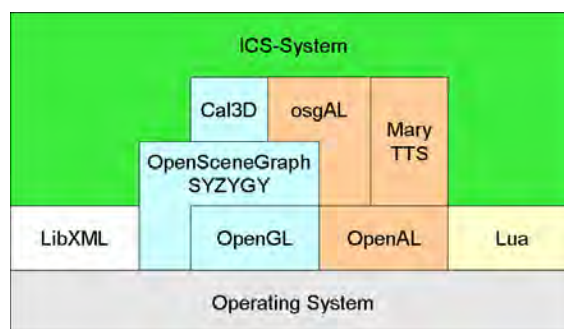
<sup>203</sup>DESMECHT LAURENT/LOIC DACHARY: Cal3D - 3D character animation library.

<sup>204</sup>TORUS KNOT SOFTWARE LTD: Features - OGRE - Open-Source 3D Graphics Engine. (URL: <http://www.ogre3d.org/about/features>) – Zugriff am 02.06.2012.

Engine unterstützt Direct3D und OpenGL.<sup>205</sup> Ähnlich wie bei Delta 3D können mit OGRE verschiedene Physik-Engines betrieben werden, beispielsweise NVIDIA PhysX oder Open Dynamic Engine (ODE). OGRE kann Bone-based- und Morph-target-Animationen abspielen. Die Entwicklung von Multiplayer-Spielen kann über die Bibliothek OpenTNL realisiert werden. Diese unterstützt TCP und UDP Verbindungen im LAN und Internet. Da Teile der Bibliothek Boost in OGRE benutzt, können HTTP-Abfragen wie bei Delta 3D über Boost erstellt werden. Die Entwicklung von OGRE wurde durch die Programmiersprache C++ realisiert. Der Quellcode von OGRE steht unter der MIT Lizenz. Es kann daher auf das Kern-API zugegriffen werden. Skripten ist per LUA oder der Skriptsprache Squirrel möglich. Das Abspielen von 3D-Sound ist über OpenAL oder die Bibliothek FMOD realisierbar. OpenAL unterstützt sowohl das Laden von Audio-Dateien als auch das Laden von Daten-Strömen. OGRE hat ein eigenes Dateiformat für ihre Objekte. Exporter existieren unter anderem für 3DS Max, Maya und Blender. Für Blender existiert auch ein Importer.

### Interactive Content System

Das Interactive Content System (ICS) ist eine Engine des Fachgebiets Technische Informatik der Universität Kassel und baut ähnlich wie Delta 3D auf der Rendering-Engine OpenSceneGraph auf. Die Basiskomponenten bestehen aus verschiedenen Open-Source-Bibliotheken bzw. Projekten, beispielsweise CAL3D für die Animation der Avatare oder OpenAL für die Audio-Wiedergabe (vgl. Abbildung 20). Zur



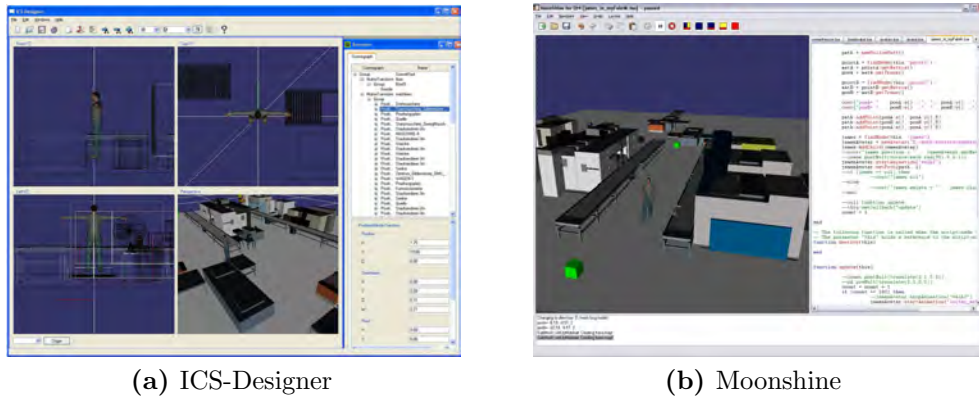
**Abbildung 20:** ICS und die genutzten Open-Source-Bibliotheken

Erstellung der Szenen kann der Editor ICS-Designer genutzt werden. Er besitzt

<sup>205</sup>TORUS KNOT SOFTWARE LTD: Features - OGRE - Open-Source 3D Graphics Engine.



Möglichkeiten, um die Szene zu gestalten (vgl. Abbildung 21 a). Die Logik kann durch den Editor Moonshine entwickelt werden (vgl. Abbildung 21 b). Wie in Abbil-



**Abbildung 21:** Für ICS entwickelten Software-Tools

dung 20 zu sehen, basiert ICS auf der Grafik-Engine OpenSceneGraph. Somit wird nur der Grafikstandard OpenGL unterstützt. Die Berechnung von Physik ist momentan noch nicht implementiert, kann aber über die auch bei Delta 3D oder OGRE verwendeten Physik-Engines bereitgestellt werden. Die Avatare können über Bone-based- oder Morph-target-Animationen mit der Bibliothek CAL3D animiert werden. Netzwerkunterstützung kann durch die Bibliothek Boost realisiert werden. Dadurch ist sowohl die Kommunikation über TCP und UDP als auch die Kommunikation mit Webservern über eine HTTP-Abfrage möglich. ICS ist in der Programmiersprache C++ implementiert worden. Da es eine Eigenentwicklung auf Basis von Open-Source-Komponenten ist, kann auf das Kern-API zugegriffen werden. Das Skripten ist per Skriptsprache LUA möglich. 3D-Sound ist über OpenAL implementiert. Dadurch lassen sich Dateien und Daten-Ströme laden. Als Datenformat werden verschiedene Formate eingesetzt. Zur Speicherung der statischen Elemente wird das OpenSceneGraph-Format verwendet. Avatare werden im internen Format *Avatar* gespeichert. Das Avatar-Format ist ein XML-Dokument, das auf die Dateien von CAL3D verweist und zusätzliche Informationen über den Avatar bereitstellt. Der Export aus 3D-Modellierungstools unterliegt den gleichen Bestimmungen wie Delta 3D.

## Auswahl der geeigneten Game-Engine

Die Umsetzung des Katastrophen-Trainings-Systems könnte in allen Game-Engines mit mehr oder weniger Aufwand realisiert werden. Tabelle 9 zeigt eine Übersicht der untersuchten Merkmale pro aufgeführter Game-Engine. Bei der Untersuchung zeigte

**Tabelle 9:** Merkmale der untersuchten Game-Engines

	Cry Engine3	Unreal En- gine 3	Unity 3D	Delta 3D	OGRE	ICS
<i>Grafik</i>						
Directx	x	x	x	-	x	-
OpenGL	x	x	x	x	x	x
Physik	x	x	x	x	-	-
<i>Animation</i>						
Vertex-based	x	x	über Plugin	bedingt	x	x
Bone-based	x	x	x	x	x	x
<i>Netzwerk- unterstützung</i>	x	x	x	x	über exter- ne Biblio- thek	über exter- ne Biblio- thek
Multiplayer LAN / Internet	x/x	x/x	x/x	x/x	x/x	x/x
TCP / UDP	x/x	x/x	x/x	x/x	x/x	x/x
HTTP-Abfragen	x/x	x/x	x/x	x/x	x/x	x/x
Webschnittstelle	-	-	x	-	-	-
<i>Programmier- schnittstelle</i>						
Kern-API	C++	C++	nicht zu- greifbar	C++	C++	C++
Skripten	x	x	x	x	x	x
<i>Sound</i>						
Daten-Strom	x	x	x	x	x	x
Audio-Datei	x	x	x	x	x	x
3D-Format	intern	FBX	FBX	OSG CAL3D	/ intern	OSG CAL3D /
3DS Max Import / Export	- / x	x / x	x / x	- / x	- / x	- / x
Maya Import / Ex- port	- / x	x / x	x / x	- / -	- / x	- / -
Blender Import / Export	- / x	x / x	x / x	- / x	x / x	- / x

sich, dass die CryEngine3 und die Unreal Engine 3 die besten Grafikumsetzungen besitzen. Sie beinhalten des Weiteren viele interne und externe Tools und können aufgrund der Schnittstelle erweitert werden. Der Import und Export geht mit allen gängigen 3D-Modellierungstools und kann so in den jeweiligen Grafik-Workflow eingebunden werden. Die vielen Merkmale und Tools wirken sich allerdings nachteilig auf die Komplexität dieser Engines aus. Die Engines fordern „Know-How“ bei der Entwicklung von Spielen bzw. Simulationen. Ein weiterer Nachteil ist, dass das Herausgeben von WebPlayer- bzw. Flash-Spielen momentan noch entwickelt wird und

somit nicht zur Verfügung steht. Zwar könnten diese ähnlich wie die Engines OGRE, Delta 3D und ICS erweitert werden, allerdings ist der Aufwand nicht angemessen.

Die Game-Engines Delta 3D und ICS setzen beide auf das Avatar-Format CAL3D. Dieses wird nicht mehr weiter gepflegt und kann daher nicht optimal mit den gängigen 3D-Modellierungstools umgehen. Das nicht primär als Game-Engine entwickelte System OGRE, kann zwar beliebig erweitert werden, jedoch müssen auch hier zunächst weitere Bibliotheken eingebunden werden, um allen Anforderungen gerecht zu werden.

Mit der Game-Engine Unity 3D werden alle Anforderungen erfüllt. Es basiert auf dem 3D-Format Autodesk FBX und kann daher mit nahezu allen 3D-Modellierungstools umgehen. Ein großer Vorteil ist die Integration der Spiele bzw. Simulationen in Webseiten und somit auch die Integration in Learning-Management-Systeme wie moodle.

## 5.3 Integration eines Vitalmodells

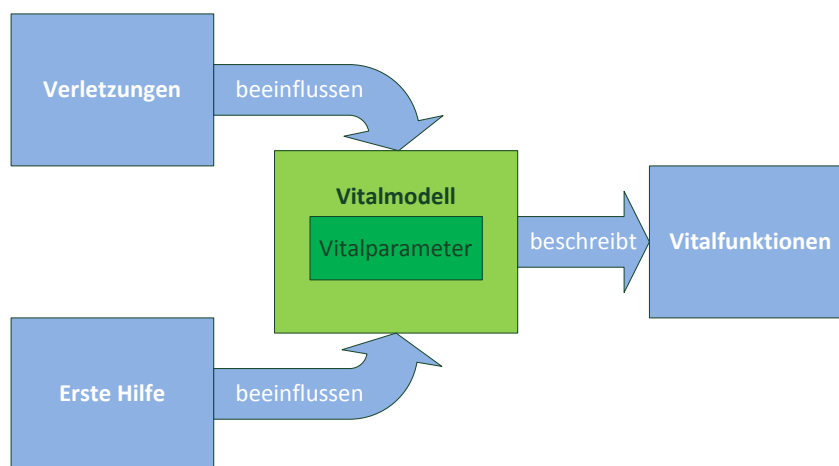
Ausgehend von den in Abschnitt 3.1.5 vorgestellten Triage-Algorithmen wird ein Vitalmodell entwickelt, welches die für die Einsatzkräfte notwendigen Vitalparameter beinhaltet und bereitstellt. Da in diesem Bereich nur vereinzelt Insellösungen vorhanden sind, die auf einen sehr speziellen Problembereich ausgerichtet sind, wird ein eigenes Modell entwickelt. Das Vitalmodell ist eine Kapselung der Vitalparameter, da diese zur Beurteilung der Vitalfunktionen Respiratorisches System, Herz- und Kreislauf sowie Bewusstsein herangezogen werden.

Die Vitalparameter Puls, Körpertemperatur, Blutdruck, Atemfrequenz und Blutmenge im Körper müssen für die Avatare verfügbar sein. Das Einstellen dieser Parameter soll weitgehend automatisiert geschehen und wenn möglich berechnet werden. Entsprechende Variablen, die die Vitalparameter beeinflussen, müssen identifiziert werden. Des Weiteren können die initialen Vitalparameter auch manuell gesetzt werden, damit auch Daten aus externen Quellen vorgegeben werden können.

Die Vitalfunktionen sollen von typischen Verletzungen, die in Großschadenslagen auftreten, beeinflusst werden können. Typische Verletzungen sind hierbei Verbrennungen, Wunden, Frakturen, blockierte Atemwege und CO-Vergiftungen. Diese Verletzungsbilder sollen in die Berechnungen der Vitalparameter einbezogen werden.



Obwohl in Großschadenslagen und Katastrophenszenarien der Rettungsdienst primär für die Versorgung der Verletzten zuständig ist, werden Erste-Hilfe-Maßnahmen implementiert. Dabei werden die Maßnahmen realisiert, die die Vitalparameter beeinflussen und im Rahmen der Triage durchgeführt werden. Hierfür sind eine Implementierung für das Freimachen der Atemwege, eine Lagerungstherapie und die Wundversorgung notwendig (vgl. Abschnitt 3.1.5). Die Anwendung von Erste-Hilfe-Maßnahmen beeinflusst ebenfalls die Berechnung der Vitalwerte. Abbildung 22 zeigt die zuvor aufgeführten Komponenten und deren Abhängigkeiten.



**Abbildung 22:** Komponenten für die Entwicklung eines Vitalmodells

### 5.4 Darstellung der Vitalparameter

Neben der Berechnung der Vitalparameter innerhalb des Vitalmodells werden diese auch optisch und/oder akustisch dargestellt. Die Darstellung muss die Werte der berechneten Vitalparameter berücksichtigen.

Für die Darstellung der einzelnen Vitalparameter werden die möglichen Darstellungsformen identifiziert und auf einem Avatar angezeigt. Dabei werden die von der Game-Engine bereitgestellten Möglichkeiten eingesetzt.

Sind Parameter nicht darstellbar, müssen die Werte durch eine Schnittstelle bereitgestellt werden, um beispielsweise durch zusätzliche Instrumente bzw. Mittel abgefragt werden zu können.

Zusätzlich werden typische Symptome und Darstellungsformen der Vitalparameter identifiziert. Dabei müssen die Symptome aktiviert werden, wenn sich die Vitalparameter in den entsprechenden Bereichen befinden.

## 5.5 Darstellung von Verletzungen

Die in Abschnitt 5.3 vorgestellten Verletzungen und die dazugehörigen Symptome werden ebenfalls identifiziert und exemplarisch an einem Avatar dargestellt. Dabei werden visuelle und hörbare Effekte eingesetzt. Weiterhin werden durch den Einsatz von Mimik Schmerzen und Bewusstlosigkeit aufgezeigt. Die Avatare sind ansprechbar, um bei Bewusstsein eine Auskunft über die Verletzungen und/oder Schmerzen geben zu können.

Bei Verbrennungen sind drei verschiedene Grade darzustellen. Diese sollen anhand der Kleidung sowie auf der Haut des Avatars zu sehen sein. Je nach Körperregion muss der Anwender das Verbrennungsbild einstellen können. Frakturen sind auf Extremitäten beschränkt und werden durch Fehlstellungen verdeutlicht. Die Darstellung von Wunden wird auf der Haut und Kleidung sichtbar sein und durch den Anwender gesteuert. Die Platzierung von Objekten im Mundraum wird ermöglicht, um eine Störung der Atemwege darzustellen. Eine Störung des Bewusstseins wird durch Aussagen, Mimik sowie eine durch eine Reaktion der Pupillen des Verletzten erkennbar sein.

## 5.6 Erste Hilfe bei Verletzungen

Wie bereits in den Abschnitten 3.1.5 und 5.3 erwähnt, werden bei einer Triage nur einige Aspekte der Ersten Hilfe benötigt. Primär werden daher die Funktionen Freimachen der Atemwege, Wundversorgung und Lagerungstherapie realisiert.

Das Freimachen der Atemwege wird durch das Überstrecken des Kopfes durchgeführt. Bei der Lagerungstherapie ist eine Stabile Seitenlage sowie eine Schocklage möglich. Die Wundversorgung ist primär über Verbände und im Speziellen den Druckverband zu realisieren.

## 5.7 Avatar-Entwicklungsprozess

Der Einsatz von Avataren in Katastrophen erfordert gewisse Voraussetzungen. Aufbauend auf dem Avatar-Entwicklungsprozess von TÜMMLER, JÖRN müssen verschiedene Modifikationen und Erweiterungen vorgenommen werden, um Avatare in der Game-Engine einzusetzen. Die Prozesse zur Erstellung der Avatare sind so ausgelegt, dass sie von Fachanwendern mit Grundkenntnissen in der 3D-Modellierung und Animation durchgeführt werden können. Dazu ist es notwendig, einen einfachen und effektiven Workflow zur Erstellung der Avatare zu entwickeln.

Alle Avatare müssen in einem einheitlichen 3D-Format und in verschiedenen 3D-Modellierungstools zur Verfügung stehen. Die erstellten Avatare sind mit der verwendeten Game-Engine kompatibel.

Zur Produktion von Avataren muss ein Basis-Avatar zur Verfügung stehen, der über Parameter und Texturen angepasst bzw. verändert werden kann.

Abhängig von ihrem Einsatzgebiet müssen Avatare in unterschiedlichen Detailgraden entstehen. Dies ist für eine performante Durchführung einer Simulation von essentieller Bedeutung. Die Aufgaben werden entsprechend in die Gruppierung

- Schaulustige,
- Opfer und
- Einsatzkräfte

unterteilt.

Schaulustige haben nur in seltenen Fällen Aufgaben innerhalb einer Katastrophensituation. Sie sind per Definition eine Gruppe Zuschauer, die das besondere Ereignis beobachten möchte.<sup>206</sup> SCHEFFLER bezeichnet diese Gruppe auch als *Katastrophentouristen*.<sup>207</sup> Grundsätzlich sollten Schaulustige zur aktiven Mithilfe oder zum Zurücktretan aufgefordert werden.<sup>208</sup> Aktive Mithilfe bedeutet hier unterstützende Maßnahmen zu ergreifen, beispielsweise das Halten einer Infusion oder die Absicherung von Verletzten. Scheffler schreibt in der Neuen juristischen Woche:

---

<sup>206</sup>MAY, ARND/MANN, REINHOLD: Soziale Kompetenz im Notfall: Praxisanleitung nicht nur für den Rettungsdienst- ein Unterrichtskonzept. Münster, Hamburg [u.a.]: Lit, 2003, Ethik in der Praxis.

<sup>207</sup>SCHEFFLER, UWE: Zur Strafbarkeit von „Gaffern“. In: Neue Juristische Wochenschrift, 4 1995.

<sup>208</sup>RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport.

„Bei dem schweren Tanklaster-Unglück in Herborn 1987 sollen mindestens zehntausend Schaulustige angereist sein. Selbst zu Fuß konnten sich die Helfer manchmal kaum einen Weg durch die Menge bahnen.“<sup>209</sup>

Eine große Anzahl an Schaulustigen erfordert daher eine niedrige Detailstufe.

Die Opfer bzw. Verletzten benötigen eine höhere Detailstufe, um die entsprechenden Verletzungen auch darstellen zu können. Da beispielsweise ein Aussetzen der Atmung blaue Lippen zur Folge haben könnte, müssen die Avatare bei näherer Betrachtung detaillierter dargestellt sein. Auch für eine spätere Animation des Gesichts ist eine höhere Detailstufe in diesem Fall sinnvoll.

Um die Authentizität der Anwendung zu erhöhen, müssen die Avatare der Einsatz- bzw. Rettungskräfte sehr detailliert sein, da diese Gruppe der Avatare spezielle Kleidung benötigt.<sup>210</sup> Im Gegensatz zu normalen Computerspielen müssen in Serious Games Modelle und Avatare, virtuelle Abbilder der realen „Dinge“ sein. Die Zielgruppe der Lernenden führt den Beruf bzw. die Tätigkeiten aktiv aus und kennt sich mit dem Equipment und Erscheinungsbild aus.

Da eine Großschadenslage viele Beteiligte hat, müssen die Avatare eine gewisse Individualität aufweisen. Es wird daher ein effizienter Avatar-Erstellungs-Prozess ermöglicht, um ein einfaches Erstellen des Avatars selbst und Zubehör in Form von Kleidung zu ermöglichen. Die Kleidung muss sich dabei möglichst automatisch an den Avatar anpassen und so für verschiedene Avatare nutzbar sein. Die Kleidung wie Schuhe, Hosen oder Pullover werden durch verschiedene Farben und Texturen mehrfach verwendet. Die Kleidung wird dem Alter entsprechend aussehen, um die Authentizität der Simulation zu erhöhen. Auch die Verwaltung der Avatare wird gewährleistet, sodass eine gewisse Wiederverwendung der Avatare möglich ist.

Zur Erreichung dieser Ziele wurden sowohl Datenbanken als auch verschiedene Tools analysiert.

In den folgenden Abschnitten werden diejenigen vorgestellt, die den Entwicklungsprozess unterstützen können. Ein manueller Modellierungsprozess wird hier nicht näher untersucht, da diese Möglichkeit prinzipiell alle Anforderungen erfüllen kann. Eine Modellierung ist allerdings sehr zeitintensiv und erfordert ein künstlerisches Verständnis.

---

<sup>209</sup>SCHEFFLER: Neue Juristische Wochenschrift, Bd. 4, 1995.

<sup>210</sup>Vgl. SIEMON, ANDREAS: Fachavatare im Einsatz - Katastrophensimulation mit Avataren. In: Tagungsband G-DAY, 3 2009.

### 5.7.1 Avatar-Datenbanken

Das Kaufen von speziellem 3D-Content ist über verschiedene Webplattformen möglich. Das Portal 3-d-models.com bietet beispielsweise ein virtuelles und anatomisches Abbild eines Menschen. Es beinhaltet neben der Hülle ein Skelett, Muskeln, Nerven und Herzkranzgefäße. Kleidungsstücke können ebenfalls für die Avatare von 3d-models.com erworben werden.<sup>211</sup> Auch auf anderen Online-Shops können verschiedene Avatare oder Avatar-Sets gekauft werden.<sup>212</sup> Die Sets beinhalten meistens verschiedene Kleidungsstücke wie verschiedene Hosentypen, Pullover oder Schuhe und werden je nach Anbieter in verschiedenen Auflösungen bereitgestellt. Die Sets können dann durch die 3D-Modellierungstools angepasst werden. Eine genaue Beschreibung der einzelnen Avatare über Alter oder Gewicht gibt es selten. Auch die Texturkoordinaten sind unterschiedlich und können nur bedingt prozedural angepasst werden. Die Sets können in verschiedenen Formaten erworben werden. Die Formate sind mit den gängigen 3D-Modellierungstools kompatibel.<sup>213</sup>

Beim Kauf von Avataren kann auf die gestellten Anforderungen direkt eingegangen werden. Allerdings können nicht immer alle Anforderungen erfüllt werden.

### 5.7.2 Avatar-Erstellungstools

Im Folgenden werden Tools und deren Möglichkeiten aufgelistet, die den Avatar-Entwicklungsprozess unterstützen können.

#### Poser

Die Software Poser<sup>214</sup> (aktuell in der Version 9) ist ein Programm zur Erstellung und Animation von Avataren (vgl. Abbildung 23). Poser liefert Basis-Avatare, die über

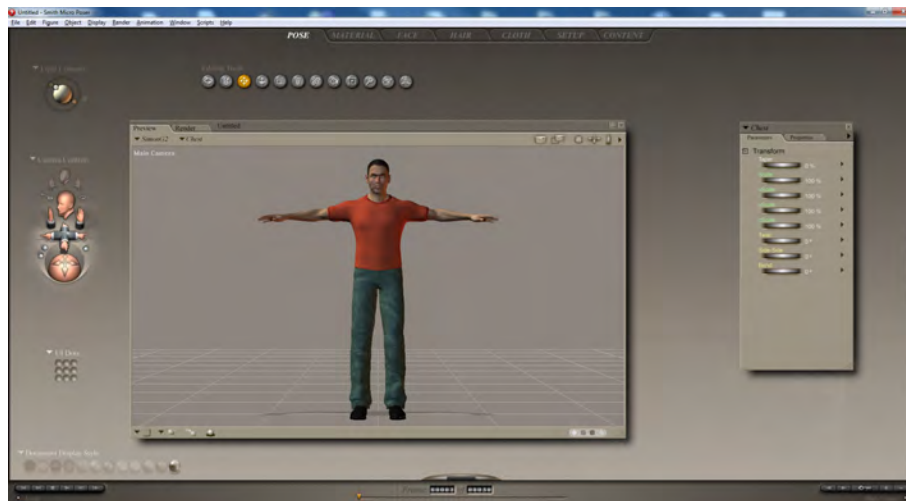
<sup>211</sup>21ST CENTURY SOLUTIONS LTD.: 3d models. (URL: <http://www.3-d-models.com/>) – Zugriff am 16.04.2010.

<sup>212</sup>Vgl. DAZ PRODUCTIONS: DAZ 3D Shop. (URL: <http://www.3-d-models.com/>) – Zugriff am 16.04.2010; 3DRT: 3DRT - Buy 3D models: game-ready lowpoly 3d characters, vehicles, levels, game packs. (URL: <http://www.3drt.com/>) – Zugriff am 16.04.2010; TURBOSQUID: 3D people Models, 3D people Animation, 3D people Files at TurboSquid. (URL: <http://www.turbosquid.com/Search/3D-Models/People>) – Zugriff am 16.04.2010; DOSCH DESIGN GMBH: Dosch Design - 3D Modelle, Texturen, HDRI, Musik & Animationen. (URL: <http://www.doschdesign.com/>) – Zugriff am 20.05.2011.

<sup>213</sup>Vgl. TURBOSQUID: 3D people Models, 3D people Animation, 3D people Files at TurboSquid; DOSCH DESIGN GMBH: Dosch Design - 3D Modelle, Texturen, HDRI, Musik & Animationen.

<sup>214</sup>SMITH MICRO INC.: Poser. (URL: <http://poser.smithmicro.com/>) – Zugriff am 22.02.2010.

Parameter verändert werden können. In jeder Version werden neue überarbeitete Basis-Avatare ausgeliefert. Je neuer die Version, desto detaillierter sind die Basis-Avatare. Beispielsweise hat der Basis-Avatar James in Poser 6 ca. 55.000 Polygone. In Poser 7 hat der Basis-Avatar Simon bereits 81.595 Polygone.<sup>215</sup> Jeder Avatar besitzt



**Abbildung 23:** Screenshot der Software Poser 7

bereits Morph-targets zur Animation des Gesichts. Über entsprechende Exporter können die Avatare von Poser in den gängigen 3D-Modellierungstools genutzt werden. Poser beinhaltet auch eine kleine Datenbank an Kleidung, die für die jeweiligen Basis-Avatare zur Verfügung steht. Die Kleidungsstücke sind allerdings nicht untereinander kompatibel. Um weitere Kleidung für Avatare in Poser zur Verfügung zu stellen, existieren Importer und spezielle Richtlinien für 3D-Modellierungstools. Das Aussehen der Avatare des Körpers und des Gesichts kann über Parameter oder spezielle interne Editoren verändert werden. Die Texturen sind für die jeweiligen Avatare unterschiedlich. Die Körperteile unter der Kleidung können bei Bedarf ausgeblendet werden. Dieses Merkmal wird auch bei einem Export berücksichtigt.

Das Gesicht der Basis-Avatare besitzt bereits Morph-targets, die auch exportiert werden können.

Über den Walkdesigner kann eine Lauf-Animation generiert und in das Biovision-Format (bvh) exportiert werden.

<sup>215</sup>SMITH MICRO INC.: G2 Character Documentation. (URL: <http://poser.smithmicro.com/tutorials/img/G2/%20Characters%20Poser%20Pro.pdf>) – Zugriff am 07.07.2010.

### QUIDAM

Ein weiteres Tool zur Erstellung von Avataren ist QUIDAM<sup>216</sup> der Firma N-Sided. QUIDAM besitzt verschiedene männliche, weibliche und fantasy Basis-Avatare, die entweder schon mit vorgefertigter Kleidung bekleidet sind oder mit zusätzlicher Kleidung ausgestattet werden können (vgl. Abbildung 24). Die Avatare werden nicht über Parameter, sondern durch Vorlagen verändert, beispielsweise korpulenter oder muskulöser Oberkörper. Die Basis-Avatare gibt es in verschiedenen Auflösungen. Die Low-Poly-Variante des männlichen Avatars besitzt ca. 6.000, die High-Poly-Variante ca. 24.000 Polygone. Intern arbeitet QUIDAM mit einem eigens entwickelten Format.



**Abbildung 24:** Screenshot der Software QUIDAM

Für die 3D-Modellierungstools Maya und 3DS Max existieren Importer für dieses Format. Morph-targets existieren für die Basis-Avatare nicht. Durch die eingebaute Modellierungsfunktion können jedoch Morph-targets für den ganzen Körper erstellt werden. Auch das eingebaute Sculpture Studio ermöglicht das Erstellen von Morph-targets.

Körperteile können innerhalb der Software ausgeblendet werden. Diese werden dann auch beim Export nicht exportiert. QUIDAM wird bereits mit einer großen Anzahl an Kleidungsstücken für die jeweiligen Avatare ausgeliefert. Weitere Kleidungsstücke können über das OBJ-Format in QUIDAM importiert werden. Für männliche und

---

<sup>216</sup>N-SIDED: QUIDAM, the other way to create. <URL: <http://www.n-sided.com/3D/quidam.php?rub=1>> – Zugriff am 17.05.2010.

weibliche Avatare werden unterschiedliche Texturen verwendet. Mit dem eingebauten Painting-Tool können die Texturen direkt auf den Körper gemalt werden.

### MakeHuman

Das Open-Source-Projekt MakeHuman<sup>217</sup> ist wie Poser eine Software zur Erstellung von Avataren (vgl. Abbildung 25). MakeHuman liefert ebenfalls einen Basis-Avatar, dessen Aussehen über Parameter verändert werden kann. Neben dem Aussehen können auch die Größe, das Gewicht oder das Geschlecht verändert werden. Von den Basis-Avataren existieren sog. Proxies die eine geringe Auflösung haben. Der Basis-Avatar besitzt ca. 16.000 Polygone, der Ascotk-Proxy ca. 1.400 Polygone. Weitere Proxies können über das 3D-Modellierungstool Blender erstellt werden. Bei



**Abbildung 25:** Screenshot der Software MakeHuman

der Parametrisierung der Avatare können sowohl eine Gesamtgröße als auch einzelne Größen der entsprechenden Körperteile bzw. -regionen eingestellt werden. Auch eine Parametrisierung der Ethnie ist über MakeHuman möglich. Die Texturkoordinaten des Basis-Avatars sind sowohl für männliche als auch weibliche Avatare gleich.

MakeHuman hat das eigene MHX-Format (Make Human eXchange) zur Interoperabilität mit Blender erstellt. Des Weiteren existieren unter anderem Erweiterungen

<sup>217</sup>MAKEHUMAN TEAM: Home — Makehuman. [⟨URL: http://makehuman.org/⟩](http://makehuman.org/) – Zugriff am 17.05.2010.



zur Erstellung von Kleidung oder Haaren in Blender, die von der MakeHuman-Community gepflegt werden. MakeHuman unterstützt Gesichtsausdrücke und bietet vordefinierte Morph-targets nach dem Facial Action Coding System an. Weitere Morph-targets können über das 3D-Modellierungstool Blender erstellt werden.

Über das MHX-Format und Blender können die Avatare in weitere Formate beispielsweise Autodesk FBX exportiert werden. Das Erstellen einer Kleidungsbibliothek ist möglich. Zu jedem Kleidungsstück existiert eine Transparenz-Textur des Körpers, sodass der Körper unterhalb der Kleidung ausgeblendet werden kann. Kleidung kann über Blender erstellt und für MakeHuman zur Verfügung gestellt werden. Aufgrund des Importprozesses passt sich auch die Kleidung an den parametrisierten Avatar in MakeHuman an. Es muss daher keine geschlechtsspezifische Kleidung erstellt werden. Durch die gleiche Knochenhierarchie können auch Animationen der Avatare untereinander genutzt werden.

### **DI-Guy**

Die Simulations-Software DI-Guy der Firma Boston Dynamics ist eine Software zur Simulation und Visualisierung von Avataren.<sup>218</sup> Die Software beinhaltet bereits ein großes Set an Avataren, das über das DI-Guy SDK programmiert werden kann. Die Avatare sind vordefiniert und existieren in verschiedenen kulturellen Ethnien. Die Nutzung der Avatare ist für Echtzeit-Systeme ausgelegt. Zusätzliche Tools für Künstliche Intelligenz oder ein Animationseditor sind ebenfalls verfügbar.

Die Avatare können über ein Level-of-Detail in der Detailstufe verändert werden. Zusätzlich werden spezielle Fach-Avatare für Feuerwehr, Armee oder Polizei angeboten, allerdings entsprechen diese dem amerikanischen Erscheinungsbild. Die Avatare werden über das SDK der verwendeten Plattform zur Verfügung gestellt und können auch über dieses noch visuell angepasst werden.

### **5.7.3 Auswahl geeigneter Basis-Avatare**

Der Einsatz eines Basis-Avatars vereinfacht und vereinheitlicht die Arbeitsabläufe des Avatar-Entwicklungs-Prozess. Dabei sind unterschiedliche Detailstufen, eine Interoperabilität mit 3D-Modellierungstools und das Einstellen von Parametern

---

<sup>218</sup>BOSTON DYNAMICS: DI-Guy. [\(URL: http://www.diguy.com/diguy/\)](http://www.diguy.com/diguy/) – Zugriff am 23.09.2009.



**Abbildung 26:** Ausschnitt aus einer Simulation der Software DI-Guy<sup>219</sup>

wichtige Merkmale. Des Weiteren sollten einheitliche Texturen für Körper und Kleidung von männlichen und weiblichen Avataren zur Verfügung stehen, damit eine prozedurale Anpassung dieser für die Gruppe der verletzten Avatare erstellt werden kann. Tabelle 10 listet die analysierten Tools auf und geht auf deren Merkmale ein.

**Tabelle 10:** Gegenüberstellung der Möglichkeiten zur Avatarerstellung

	Avatar-DB	Poser	MakeHuman	QUIDAM	DI-GUY
Detailstufen	teilweise	bedingt	ja	ja	ja
Kleidung	ja	integriert / erstellbar	integriert / erstellbar	integriert	integriert
Texturkoordinaten	unterschiedlich	unterschiedlich	gleich	unterschiedlich	unterschiedlich
Basis-Avatar	unterschiedlich	ja	ja	teilweise	teilweise
Kosten	unterschiedlich	349,90 €	open-source	k.A.	verhandelbar

Aufgrund der vorgestellten Merkmale eignet sich MakeHuman besonders wegen seiner Erweiterbarkeit und des Basis-Avatars in verschiedenen Auflösungen als Basis für den Avatar-Entwicklungsprozess. Die MakeHuman Community bietet auch bereits einige Kleidungsstücke für die Avatare an. Etablierte Entwicklungsprozesse zur Erstellung von Kleidung existieren genauso, wie verschiedene Morph-targets zur Animation des Gesichts. Auch eigene Proxies bzw. neue Auflösungen mit speziellen Merkmalen können erstellt werden. Weiterhin kann MakeHuman über Plugins erweitert werden.

<sup>219</sup>BOSTON DYNAMICS: DI-Guy.

Durch den Einsatz von gleichen Texturkoordinaten des Basisavatars kann jeder Avatar auch „verletzt“ werden. Über das 3D-Modellierungstool Blender kann der Avatar anschließend auch für andere 3D-Modellierungstools zur Verfügung gestellt werden. Auch ein direkter Export in das Collada-Format ist aus MakeHuman möglich, sodass beispielsweise Avatare sofort für die Game-Engine Unity 3D einsetzbar sind.

## 5.8 Steuerung von Avataren und Interagieren mit Ausrüstungsgegenständen

Grundsätzlich werden bei der Steuerung der Avatare und dem Interagieren mit Ausrüstungsgegenständen Technologien der Game-Engine eingesetzt. In den folgenden beiden Abschnitten werden die notwendigen Schnittstellen für diese Anforderungen detailliert beschrieben.

### 5.8.1 Interaktion mit Ausrüstungsgegenständen

Für die Rettung von Verletzten können Einsatzkräfte verschiedene Ausrüstungsgegenstände einsetzen bzw. benutzen. Die Ausrüstungsgegenstände sind dabei normalerweise auf den entsprechenden Fahrzeugen von Feuerwehr, THW oder Rettungsdienst verlastet. Die Gegenstände werden durch geeignete realistisch aussehende 3D-Modelle repräsentiert.<sup>220</sup> Entsprechend ihren Eigenschaften werden diese Modelle weitestgehend die reale Funktionalität bereitstellen.

Die 3D-Modelle werden mit gängiger 3D-Modellierungssoftware erstellt und durch die Game-Engine dargestellt.

Grundlegende Eigenschaften der Gegenstände, wie Nehmen, Ablegen oder Verbinden werden über Templates realisiert. Ein grafisches Benutzerinterface wird den Spielern die Benutzung der Ausrüstungsgegenstände ermöglichen.

Der Umgang mit den Gegenständen wird auch von anderen Teilnehmern der Simulation gesehen und ist damit auch im Netzwerk verfügbar.

---

<sup>220</sup>Vgl. SIEMON, A./EHRlich, D.: Computer-Technologien für die Ausbildung. In: Florian Hessen, 2010 Nr. 1/2.

### 5.8.2 Steuerungs-Interface

Die Steuerung der Avatare durch die Lernenden bzw. Spieler muss aus verschiedenen Perspektiven möglich sein. Hier ist zum einen eine Ich-Perspektive und zum anderen eine Third-Person-Perspektive notwendig. Die Möglichkeit der Steuerung über gängige Eingabegeräte muss realisiert werden. Zur Steuerung der Avatare sind aktuell Maus und Tastatur sowie Gamepad üblich.

Die Navigation innerhalb der Szenarien geschieht unter realen physikalischen Voraussetzungen. Der Spieler muss sich in einer „normalen“ Geschwindigkeit (Gehen–Joggen: 5–12 km/h) bewegen können.<sup>221</sup>

Die Darstellung spezieller Animationen wird gewährleistet, um beispielsweise bei der stabilen Seitenlage die Griffe zu erkennen und eine realitätsnahe Dauer des Vorgangs zu haben. Darüber hinaus werden Varianten des Motioncapturing untersucht, um die Animation des Spielers darzustellen.

Für das Arbeiten in Gruppen werden ebenfalls Strukturen geschaffen, um zum einen gemeinsam im Team zu arbeiten und zum anderen damit die anderen Gruppen- bzw. Teammitglieder untereinander sehen, was diese gerade tun.

Das Konzept sieht weiterhin vor, eine Schnittstelle zur Fern-Steuerung der Avatare und das Interagieren mit Ausrüstungsgegenständen mithilfe von Künstlicher Intelligenz zu realisieren. Die Künstliche Intelligenz muss hier allerdings nicht implementiert, sondern es muss lediglich eine Schnittstelle für diese bereitgestellt werden. Die Schnittstelle muss dabei flexibel sein, damit das in Abschnitt 5.8.1 aufgestellte Konzept auch durch Künstliche Intelligenz gesteuert werden kann.

## 5.9 Virtuelle Szenarien

Vertraute Umgebungen schaffen Sicherheit. Kennt sich der Mensch in einer Umgebung aus, ist es für ihn einfacher, sich auf andere Dinge zu konzentrieren. Es ist daher von Vorteil, wenn Einsatzkräfte die Umgebungen von kritischen Orten oder Gebäuden in ihrer Stadt kennen. Dies ist allerdings nicht immer möglich. Das Trainieren eines Krankenhausbrandes ist zum Beispiel nur schwer möglich, da ein Krankenhaus in den seltensten Fällen leer steht. Für Krankenhäuser stehen spezielle

---

<sup>221</sup>Vgl. GÖTZ-NEUMANN, KIRSTEN: Gehen verstehen: Ganganalyse in der Physiotherapie. 2. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2006, S. 19.

Notfallmanagementpläne parat, die im Falle eines Unfalls, Brandes o. ä. herangezogen werden.

Die Ausbildung in der virtuellen lokalen Umgebung schult die Einsatzkräfte vor Ort und fördert dadurch im realen Einsatz die Konzentration bzw. Fokussierung auf einsatzspezifische Tätigkeiten.

Moderne Stadt- bzw. Kreisverwaltungen bieten immer mehr vorhandene georeferenzierte Daten zur Nutzung an.<sup>222</sup> Diese können auch in Lernsimulationen bzw. Serious Games eingesetzt werden. Die Verwendung dieser Daten zur Generierung von Umgebungen (sog. Terrains) oder Städten ermöglicht die Erstellung von sehr realistischen Szenarien. Die Daten beinhalten beispielsweise Grundstücke, Gebäudeflächen, Wasserversorgung, Begrünung der Region oder Gewässerflächen. Abbildung 27 zeigt eine Möglichkeit einer zweidimensionalen Visualisierung georeferenzierter Daten in Form einer Karte im Projekt OpenStreetMap.<sup>223</sup>

Neben den öffentlichen Verwaltungen existieren auch Firmen (Google<sup>224</sup>, Nasa<sup>225</sup>) oder gemeinschaftliche Projekte (OpenStreetMap<sup>226</sup>, OSGeo<sup>227</sup>), die solche Daten bereitstellen. Auch diese können zur Generierung von virtuellen Szenarien herangezogen werden.

Für die Erstellung von virtuellen Szenarien gibt es Tools, die die Generierung dieser Szenarien prozedural, d. h. auf Basis von Regeln, ermöglichen. Dabei werden 2D-Flächen aufgrund der Regeln extrudiert und in ein 3D-Objekt überführt. Dieses wird durch die Regeln gesteuert. Jeder Fläche muss eine Regel zugewiesen werden. Anhand der Regeln und Attribute der Flächen wird entschieden, wie die Fläche behandelt wird. Ein typisches Attribut ist beispielsweise die Art: Straßename, Adresse, Flurstück, Gewässer oder Größe.

---

<sup>222</sup>Vgl. STADT KASSEL: Angebot Vermessung und Geoinformation. (URL: <http://www.serviceportal-kassel.de/cms05/dienstleistungsgruppen/022007/index.html>) – Zugriff am 12.05.2012; STADT BERLIN: Geodatenservice. (URL: <http://www.berlin.de/ba-mitte/org/geodatenservice/index.html>) – Zugriff am 12.05.2012.

<sup>223</sup>OPENSTREETMAP: OpenStreetMap. (URL: <http://www.openstreetmap.org/>) – Zugriff am 12.05.2012.

<sup>224</sup>GOOGLE: Google Earth. (URL: <http://www.google.de/intl/de/earth/index.html>) – Zugriff am 12.05.2012.

<sup>225</sup>NASA - JET PROPULSION LABORATORY: Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). (URL: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>) – Zugriff am 12.05.2012.

<sup>226</sup>OPENSTREETMAP: OpenStreetMap.

<sup>227</sup>GEODATA DISCOVERY WORKING GROUP: The Open Source Geospatial Foundation. (URL: <http://www.osgeo.org>) – Zugriff am 12.05.2012.



**Abbildung 27:** Visualisierung von georeferenzierten Daten des Projekts OpenStreet-Map als Kartendarstellung um die Universität Kassel, Standort Wilhelmshöher Allee

Georeferenzierte Daten der Verwaltungen liegen in der Regel im Shape (SHP) Format vor. Andere sind beispielsweise Höhendaten (GeoTIFF-Format), OpenStreetMap XML (OSM-Format) oder Nasa-Höhendaten (srtm-Format). Die zu verwendenden Tools müssen daher mit diesem Format umgehen können oder über andere Programme eine Verwendung ermöglichen. Des Weiteren muss es möglich sein, die Szenarien in ein Format zu exportieren, das 3D-Modellierungstools importieren kann, um eine evtl. Nachbearbeitung und Optimierung zu ermöglichen.

### 5.9.1 Stadtgeneratoren

Bei der Analyse der Tools sollen die Aspekte Bedienung, Import von GIS-Daten, Export in 3D-Modellierungstools, regelbasiertes Generieren von Straßen und Gebäuden sowie die Nutzung von Höhendaten anhand eines Beispiels evaluiert werden. Momentan sind Tools als Stand-Alone Software oder als Erweiterung für 3D-

Modellierungstools verfügbar. Als Stand-Alone ist die Software Esri City-Engine<sup>228</sup> und City-Scape bzw. Autodesk Infrastructure Modeler<sup>229</sup> zu nennen. Die Software City-Scape wurde allerdings 2010 von Autodesk gekauft und die Funktionalität erst im August 2011 in die neue Software Autodesk Infrastructure Modeler integriert. Deshalb wurde eine Evaluierung dieser Software aus Zeitmangel hier nicht durchgeführt.

Als Erweiterung für bestehende 3D-Modellierungstools stehen Suicidator<sup>230</sup> und ghostTown<sup>231</sup> zur Verfügung.

### City-Engine

City-Engine, ursprünglich ein Forschungsprojekt des ETH Computer Vision Labs der ETH Zürich, ist ein Stand-Alone Tool zur Generierung von Städten und basiert auf der Entwicklungsumgebung Eclipse<sup>232</sup>. City-Engine wird mit vielen Beispielen und Tutorials ausgeliefert und ist für die Betriebssysteme Windows, MacOS sowie Linux verfügbar. Die Bedienung ist an klassische 3D-Modellierungstools angelehnt. Zusätzlich sind die typischen Eclipse-Elemente wie Projektverwaltung in das Interface integriert (vgl. Abbildung 28).

City-Engine besitzt eine eigens entwickelte Sprache zur regelbasierten Generierung von Objekten. Diese Sprache ermöglicht ein prozedurales Modellieren und Texturieren von 3D-Objekten. Neben der textbasierten Programmierung im Editor, kann auch ein visueller Editor zur Programmierung der Regeln genutzt werden. Über die Programmiersprache kann auch auf Objekt-Attribute zugegriffen werden. Zusätzlich zur internen Sprache gibt es ein Python-Interface, über das weitere Elemente zur Verfügung stehen. Dies ist vor allem für Automatisierungen nützlich.

City-Engine kann mehrere georeferenzierte Datenformate (SHP, OSM, KML) importieren und weiterverarbeiten. Dies ermöglicht die Generierung von Straßen und Gebäuden aufgrund der erfassten Flächen. Des Weiteren können Höhendaten

---

<sup>228</sup>ESRI: Esri CityEngine - 3D Modeling Software for Urban Environments. [⟨URL: http://www.esri.com/software/cityengine/index.html⟩](http://www.esri.com/software/cityengine/index.html) – Zugriff am 24.07.2011.

<sup>229</sup>AUTODESK INC.: Autodesk Infrastructure Modeler. [⟨URL: http://www.autodesk.com/infrastructure-modeler⟩](http://www.autodesk.com/infrastructure-modeler) – Zugriff am 25.10.2011.

<sup>230</sup>ARNAUD COUTURIER: Suicidator City Generator. [⟨URL: http://cgchan.com/suicidator⟩](http://cgchan.com/suicidator) – Zugriff am 27.04.2011.

<sup>231</sup>KRISTIAN LARSEN: ghostTown. [⟨URL: http://www.kilad.net⟩](http://www.kilad.net) – Zugriff am 27.04.2011.

<sup>232</sup>Vgl. ECLIPSE FOUNDATION: Eclipse. [⟨URL: http://eclipse.org/⟩](http://eclipse.org/) – Zugriff am 13.10.2010.

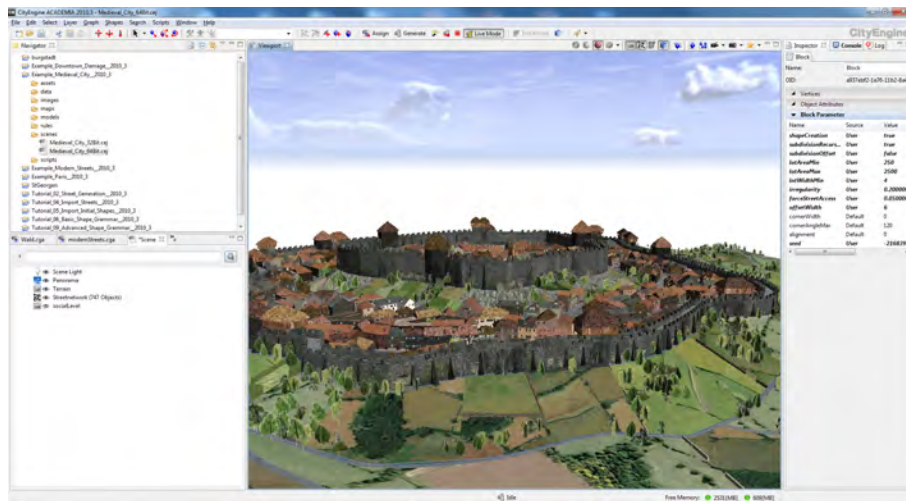


Abbildung 28: Screenshot der Software Cityengine

(GeoTIFF) importiert werden, die auch auf die importierten Flächen angewendet werden können. Für die prozedurale Programmierung können ebenfalls 3D-Objekte im Wavefront OBJ-Format importiert werden.

City-Engine kann die erstellten Szenen in verschiedene 3D-Formate (Autodesk FBX, Collada, DXF, Wavefront OBJ) exportieren. Beim Export kann das Modell wahlweise noch optimiert werden, beispielsweise können Flächen mit der gleichen Textur zusammengefasst werden.

### Suicidator City Generator

Suicidator City Generator ist eine Erweiterung für das 3D-Modellierungstool Blender. Die Erweiterung ermöglicht die Generierung von Städten auf Basis von Texturen. Sie wird in einer kostenfreien und kostenpflichtigen Version angeboten. Die kostenfreie Version hat jedoch Einschränkungen bei der Gestaltung der Städte (vgl. Tabelle 11).

Ein grafisches Benutzermenü ermöglicht das Generieren der Stadt. Es kann zusätzlich ein Wizard eingesetzt werden, der den Benutzer bei den verschiedenen Einstellungen und Optionen assistiert.

Da die Erweiterung Suicidator City Generator auf Texturen basiert, können die georeferenzierten Daten nicht direkt verwendet werden. Sie können allerdings in Form von Farbkarten in Blender importiert werden. Dazu müssen die entsprechenden Farbkarten mithilfe von GIS-Tools erstellt werden. Für die Erstellung der Farbkarten



**Tabelle 11:** Unterschiede der Suicidator City Generator Versionen

	Kostenfrei	Kostenpflichtig
Stadtgröße	500 $m^2$	10.000 $m^2$
Gelände	Ja	Ja
Gelände Textur	Ja (256 x 256 max)	Ja (keine Einschränkung)
Straßen	Ja	Ja
Straßen Texturen	Ja (1024 x 1024 max)	Ja (keine Einschränkung)
Gebäude Texturen	Ja (256 x 256 max)	Ja (keine Einschränkung)
Einfache Gebäude	Ja	Ja
Komplexe Gebäude	Nein	Ja

kann hier exemplarisch die Software QuantumGIS<sup>233</sup> genannt werden. Das gleiche Verfahren kann auch für eine Populationskarte genutzt werden. Dabei wird aufgrund des Grauwertes bestimmt, welche Art Gebäude an dieser Stelle steht. Eine Steuerung über die Größe der Straßen, beispielsweise über die Anzahl der Fahrstreifen ist nicht möglich.

Das Gelände wird durch eine Heightmap repräsentiert, welche über ein GeoTiff-Bild erstellt werden kann.

Da Suicidator City Generator eine Blender-Erweiterung ist, kann jeder in Blender verfügbare Exporter zum Export genutzt werden. Dadurch ist auch der Export in Autodesk FBX oder Collada möglich.

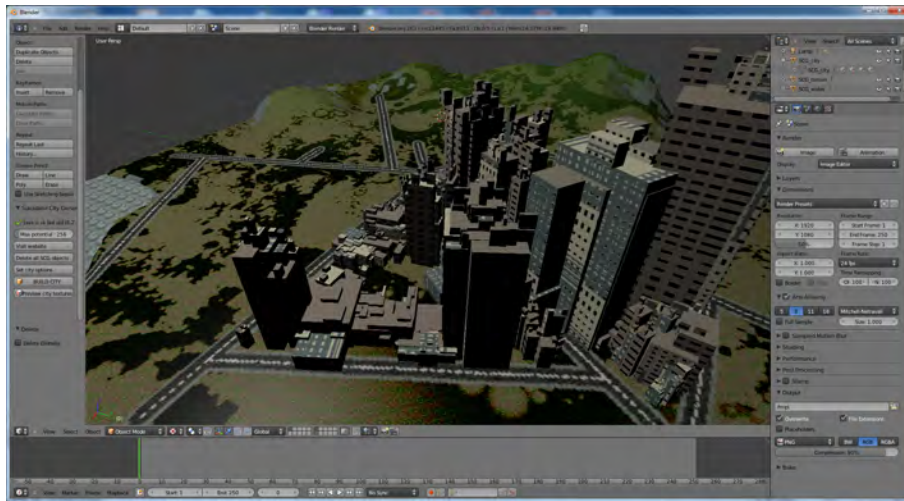
Abbildung 29 zeigt eine automatisch generierte Stadt mit dem Blender-Plugin Suicidator City Generator.

### ghostTown

Die Erweiterung ghostTown für 3DS Max erlaubt, über ein grafisches Interface eine Stadt auf Basis von 3D-Grundkörpern (Flächen, Würfeln etc.) zu generieren. Diese Basisobjekte werden in kleinere Objekte aufgeteilt. Wie in Abbildung 30 zu sehen, basiert die Aufteilung der Flächen auf einer regelmäßigen Morphologie, die eher in amerikanischen Städten zu finden ist. Die neu erstellten Objekte dienen als Basis für die Generierung der Straßen und Gebäude. Die Grundflächen können über die von 3DS Max integrierten Funktionen manuell bearbeitet werden. Das Plugin ghostTown kann über Skripte das Aussehen der Stadt steuern und verändern. Die Regeln werden in der Skriptsprache MAXScript verfasst und der Bibliothek von

---

<sup>233</sup>OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION: Quantum GIS. (URL: <http://www.qgis.org/>) – Zugriff am 03.04.2010.



**Abbildung 29:** Screenshot einer generierten Stadt mit Suicidator City Generator

ghostTown hinzugefügt.

Die Komplexität der Gebäude kann durch einen Low- und High-Polygon-Modus gesteuert werden. Zusätzliche Attribute, wie beispielsweise durchschnittliche Anzahl an Stockwerken oder Höhe dieser, ermöglichen ein je nach Stadtbild unterschiedlich angepasstes Aussehen.

Da ghostTown eine Erweiterung für 3DS Max ist, werden Import und Export-Möglichkeiten durch dieses 3D-Modellierungstool vorgegeben. Es ist möglich, SHP und DXF-Daten zu importieren und diese als Basisflächen einzusetzen. Durch den Import werden allerdings nur die Flächeninformationen bereitgestellt. Zusätzliche Attribute der georeferenzierten Daten werden nicht mit importiert. Dies erschwert die regelbasierte Generierung der Objekte, da wichtige Klassifikationskriterien fehlen. Des Weiteren können zu komplexe Flächen nicht verarbeitet werden. Die Einbindung von Höhendaten ist möglich, allerdings existiert keine automatische Funktion zur Anpassung der Gebäude und Straßen an die jeweilige Höhe. Es muss daher jedes Objekt einzeln transformiert werden.

Der Export der generierten Stadt ist mit den in 3DS Max verfügbaren Exportern und damit auch für den Export in das Autodesk FBX oder Collada Format möglich.

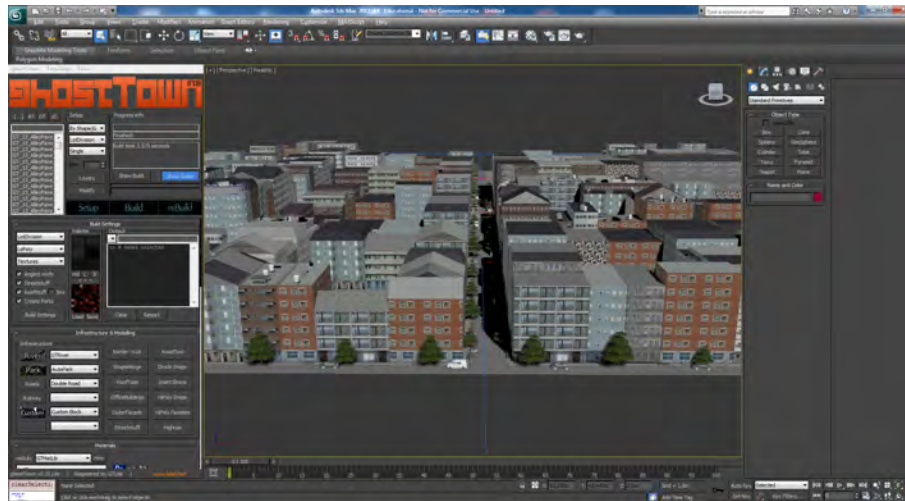


Abbildung 30: Screenshot einer generierten Stadt mit ghostTown

### 5.9.2 Auswahl eines Stadtgenerators

Die vorgestellten geeigneten Stadtgeneratoren haben einen unterschiedlichen Entwicklungsstand und sind daher auch unterschiedlich leistungsstark. Kommerzielle Produkte bieten hier mehr Eigenschaften an und sind leistungsfähiger bei der Erstellung virtueller Städte. Tabelle 12 stellt die evaluierten Merkmale noch einmal gegenüber.

Tabelle 12: Übersicht der Merkmale von 3D-Stadtgeneratoren

	City-Engine	Suicidator City Generator	ghostTown
Import Geodaten	x	über Farbkarte	mit Einschränkung
Import Höhendaten	x	x	mit Einschränkung
Regelbasierte Erstellung	x	x	x
Export	COLLADA/FBX	Blender Export-Formate	3DS Max Export-Formate

Das Softwareprodukt City-Engine bietet alle benötigten Merkmale zur Generierung von virtuellen 3D-Stadtmodellen an. Es können sowohl Regeln erstellt als auch georeferenzierte Daten importiert und verarbeitet werden. Die Regeln können sukzessive erweitert und damit verschiedene Baustile integriert werden. Der Import von eigenen Modellen ist vorgesehen und somit auch die Möglichkeit, spezifische Bauwerke einer Stadt zu integrieren.

Vor allem beim Export überzeugt City-Engine, da während des Exportes Polygon-Netze automatisiert zusammengefasst werden. Die virtuellen Welten können daher

sehr gut in der Game-Engine dargestellt und eingesetzt werden. Der Einsatz von Höhenkarten ist sowohl bei City-Engine als auch später in der Game-Engine möglich. Somit wird eine konsistente Verarbeitungskette gewährleistet.

Zur Vollständigkeit muss an dieser Stelle auch noch die Software Autodesk Infrastructure Modeler genannt werden, die aktuell vergleichbare Funktionalität bietet und daher ebenfalls für die Generierung virtueller Städte genutzt werden könnte.

Aufbauend auf City-Engine werden in Kapitel 10 Verfahren vorgestellt, um anhand georeferenzierter Daten verschiedene virtuelle Städte zu erstellen.



## 6 Vitalfunktionen und Berechnung der Vitalparameter

Dieses Kapitel geht zunächst auf die Begriffe Vitalfunktionen und Vitalparameter bzw. Vitalzeichen ein. Zusätzlich werden Methoden und Verfahren vorgestellt, die zur Berechnung von Vitalparametern herangezogen werden. Aufgrund von Verletzungen können die Vitalparameter beeinflusst werden. Die Abhängigkeiten werden in einem Modell zusammengefasst.

Es soll bei diesem Modell von gesunden Menschen ausgegangen werden, die keine Erkrankungen vorweisen. Erkrankungen sind für die Behandlung der Patienten durch Ärzte natürlich wichtig, jedoch richtet sich die Versorgung der Verletzten an Einsatzkräfte in Großschadenslagen, die zunächst nur eine Kategorisierung aufgrund des Triage-Algorithmus durchführen.

Die Darstellung der in diesen Kapiteln aufgestellten Gleichungen erfolgt auf Basis von Zahlenwertgleichungen. Der Definitionsbereich der einzelnen Gleichungen ist durch das Symbol  $\mathbb{D}$  dargestellt.

### 6.1 Berechnungsmodelle

Zur Realisierung des Vitalmodells wurden verschiedene Gleichungen aufgestellt, die die einzelnen Vitalparameter beschreiben. Dazu wurden Annahmen getroffen, um eine Ausgangsbasis für die Berechnung der Vitalwerte zu gewährleisten. Aufgrund der vorgestellten Triage-Algorithmen bzw. Abläufe werden in diesem Modell von initialen Werten in Ruhe ausgegangen, d. h. Werte ohne körperliche Anstrengung, da die zu behandelnden Verletzten in einer Großschadenslage auf Hilfe angewiesen sind und sich nicht selbst retten können. Mobile Verletzte werden an einem Sammelpunkt versorgt und können sich ohne fremde Hilfe retten.

### 6.1.1 Respiratorisches System

Ausgangspunkt für die Berechnungen des Respiratorischen Systems ist die Lungentätigkeit (Ventilation). Die Atmung über die Haut (Perspiration) wird bei diesen Berechnungen vernachlässigt, da sie mit weniger als 1 % des gesamten Sauerstoffaustauschs beteiligt ist.<sup>234</sup>

Wie in Abschnitt 2.2.2.4 beschrieben, ist die Atemfrequenz ein wichtiger Indikator über die Vitalfunktion Atmung. Dabei ist die Frequenz ( $B$ ) die Anzahl ( $N$ ) an Atemzügen pro Minute.

$$B = N \cdot \text{min}^{-1} \quad (6.1)$$

Für weitere Berechnungen wird auch das Atemminutenvolumen (engl. Respiratory Minute Volume  $RMV$ ) herangezogen. Es berechnet sich durch das Atemzugvolumen ( $V$ ) multipliziert mit der Atemfrequenz ( $B$ ). Das Atemzugvolumen beträgt bei einem Erwachsenen ca. 0,5 – 1 Liter.<sup>235</sup>

$$RMV = V \cdot B \cdot \text{min} \quad (6.2)$$

Bei den folgenden Berechnungen wird zunächst von der Zusammensetzung aus Tabelle 1 der Atemluft ausgegangen. Für  $B$  und  $V$  werden entsprechend altersabhängig die in Tabelle 13 durchschnittlichen Werte in Ruhe angenommen. Damit individuelle Werte generiert werden können, wird hier ein Zufallswert aus der jeweiligen Spanne addiert. Neugeborene, Säuglinge und Kleinkinder werden zusammengefasst als Kinder dargestellt. Die Kategorie Kinder umfasst das Alter 0 – 6, Schulkinder 6 – 14, Jugendliche 14 – 18, Erwachsene 18 und älter. Anhand der Tabelle 13 werden die

**Tabelle 13:** Altersabhängige Atemfrequenz und Atemzugvolumen nach MÜLLER<sup>236</sup>

Altersstufe	Atemfrequenz [ $\text{Min}^{-1}$ ]	Atemzugvolumen[ml]
Neugeborene	40–50	20–35
Säuglinge	30–40	40–100
Kleinkinder	20–30	150–200
Schulkinder	16–20	300–400
Jugendliche	14–16	300–500
Erwachsene	10–14	500–1000

---

<sup>234</sup>STÜCKER, M. et al.: The cutaneous uptake of atmospheric oxygen contributes significantly to the oxygen supply of human dermis and epidermis. In: The Journal of physiology, 538 2002 Nr. 3.

<sup>235</sup>Vgl. MÜLLER, SÖNKE: Memorix Notfallmedizin. 9. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2011, S. 37.

<sup>236</sup>MÜLLER: Memorix Notfallmedizin, S. 37.

initiale Atemfrequenz ( $B_{init}$ ) und das initiale Atemvolumen ( $V_{init}$ ) eingeführt.

### 6.1.2 Herz und Kreislauf

Für die Berechnung des Herz-Kreislaufsystems werden die Werte Puls, Blutdruck und Temperatur herangezogen.

#### 6.1.2.1 Puls

Ein Teilaspekt des Pulses ist die Frequenz. Die Pulsfrequenz ( $P$ ) ist durch die Anzahl ( $N$ ) der Schläge pro Minute angegeben.

$$P = N \cdot \text{min}^{-1} \quad (6.3)$$

Die durchschnittliche Frequenz des Ruhepulses ist in Tabelle 14 dargestellt. Des Weiteren wird beim Puls zwischen Regelmäßigkeit (regularis) und Unregelmäßigkeit (irregularis) unterschieden. Der Aspekt der Qualität wird durch gut und schlecht tastbar definiert. Analog zur Atemfrequenz wird die initiale Pulsfrequenz  $P_{init}$  in Abhängigkeit des Alters initialisiert. Auch hier wird ein Zufallswert aus der Spannweite der Frequenz für einen individuellen Wert angenommen.

**Tabelle 14:** Abhängigkeit des Ruhepulses vom Alter nach RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN<sup>237</sup>

Alter	Ruhepulsfrequenz
2–6	75–120
6–12	75–110
>12	60–100

#### 6.1.2.2 Temperatur

Die Temperatur wird als Konstante angenommen, da sie sich nur durch äußere Einflüsse verändert. Die Temperatur ( $T$ ) liegt bei einem gesunden Menschen in einem Bereich von 36 °C und 38 °C. Bei der Temperatur wird hier von der Körperkerntempe-

---

<sup>237</sup>RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 110.



ratur ausgegangen (vgl. Abschnitt 2.2.2).

$$\begin{aligned} T &= (36 + x) \cdot ^\circ\text{C} \\ \mathbb{D} &= \{x \in \mathbb{R} | 0 \leq x \leq 2\} \end{aligned} \tag{6.4}$$

### 6.1.2.3 Blutdruck

Der Blutdruck ( $RR_{systolic}$  und  $RR_{diastolic}$ ) wird ebenfalls zunächst als Konstante in Abhängigkeit des Alters ( $y$ ) angenommen. Ein geeigneter Ausgangswert für den systolischen Wert kann nach RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN über Formel 6.5 und 6.6 berechnet werden.<sup>238</sup>

$$\begin{aligned} RR_{systolic} &= \left(110 + \frac{y}{2}\right) \cdot \text{mmHg} \\ \mathbb{D} &= \{y \in \mathbb{N} | y \geq 0\} \end{aligned} \tag{6.5}$$

$$RR_{diastolic} = RR_{systolic} - 50 \cdot \text{mmHg} \tag{6.6}$$

### 6.1.2.4 Blut

Das Blut ist für den Kreislauf und den Transport des Sauerstoffs ein wichtiger Faktor. Die durchschnittliche Menge Blut ( $VB_{init}$ ) eines Menschen beträgt ca. 6–8 % des Körpergewichts ( $m$ ). Auch hier wird von gesunden Menschen ausgegangen. Die Blutmenge bei Menschen mit Adipositas (Übergewicht) bzw. solchen mit Untergewicht bewegt sich in einem Bereich von 1 % unter der durchschnittlichen Menge, sodass dieser Aspekt hier vernachlässigt werden kann.<sup>239</sup>

$$\begin{aligned} VB_{init} &= m \cdot \text{kg} \cdot \frac{(6 + x)}{100} \cdot \frac{\text{ml}}{\text{kg}} \\ \mathbb{D} &= \{x \in \mathbb{R} | 0 \leq x \leq 2\} \end{aligned} \tag{6.7}$$

Eine weitere Größe in Zusammenhang mit Blut ist das Hämoglobin. Es bindet den Sauerstoff und ist für seinen Transport im Kreislaufsystem zuständig. Referenzwerte für typische Hämoglobinwerte sind in Tabelle 15 aufgeführt.

---

<sup>238</sup>Vgl. RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 133.

<sup>239</sup>HOLBØLL, S. A.: Untersuchungen Über die Blutmenge bei Patienten mit Adipositas. In: Journal of Molecular Medicine, 8 1929 [⟨URL: http://dx.doi.org/10.1007/BF01738366⟩](http://dx.doi.org/10.1007/BF01738366).

**Tabelle 15:** Referenzwerte für Hämoglobin nach MAHLBERG/GILLES/LÄSCH<sup>240</sup>

	mmol / l
Männer	8,694 - 11,178
Frauen	7,452 - 9,936
Kinder	7,452 - 9,936

### 6.1.3 Bewusstsein

Das Bewusstsein kann qualitativ und quantitativ beurteilt werden. Bei beiden Beurteilungen findet eine Kategorisierung in verschiedene Stufen statt. Im Falle von Großschadenslagen können qualitative Beurteilungen vernachlässigt werden, da diese hauptsächlich bei psychischen Erkrankungen angewendet wird. Die quantitative Beurteilung des Bewusstseins betrifft den Wachheitsgrad und wird in die drei folgenden Schweregrade unterteilt:<sup>241</sup>

- **Somnolenz:** Schlafähnlicher Zustand, Patient ist erweckbar, tendiert aber zum Wiedereinschlafen
- **Sopor:** Tiefschlafähnlich, Patient nur durch stärkste Reize erweckbar
- **Koma:** Patient nicht erweckbar, alle Schutzreflexe und Reflexe erloschen

Teilweise wird auch noch der Zustand der Benommenheit (große Müdigkeit mit häufigem Gähnen) zur Unterteilung als erste Stufe herangezogen, der aber in dieser Arbeit nicht weiter beachtet wird.

Wie an der Kategorisierung zu sehen ist, bezieht sich die Beurteilung auf Symptome und lässt sich daher nicht in Zahlen ausdrücken. Daher werden bei Störungen des Bewusstseins Symptome angesteuert (vgl. Abschnitt 6.2.5).

<sup>240</sup>MAHLBERG/GILLES/LÄSCH: Hämatologie, S. 127.

<sup>241</sup>Vgl. RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport; ELLINGER, K.: Kursbuch Notfallmedizin: Orientiert am bundeseinheitlichen Curriculum Zusatzbezeichnung Notfallmedizin. 2. Auflage. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 2011; SCHÖPF, J. et al.: Psychiatrie für die Praxis: Mit ICD-10-Diagnostik. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2003.

## 6.2 Typische Verletzungsbilder in Katastrophen

In Großschadenslagen treten verschiedene Verletzungsmuster auf. In der vorliegenden Arbeit wird sich auf die in Kapitel 4 vorgegebenen Verletzungsmuster Frakturen, Verbrennungen, Wunden sowie Atemwegs- und Bewusstseinsstörungen konzentriert.

### 6.2.1 Wunden

Wunden werden als Unterbrechung des Gewebezusammenhangs an Körperober- oder -innenfläche bezeichnet.<sup>242</sup> Nach der Art der Entstehung wird auch die Wunde kategorisiert. Es wird unterschieden zwischen traumatischen, thermischen und chemischen Wunden. Durch Wunden können auch größere Blutgefäße verletzt sein. Ist dies der Fall, verändern sich durch den Blutverlust die Vitalparameter.

### 6.2.2 Thermische Verletzungen

Brände und Explosionen gehören neben den technischen Hilfeleistungen zu den häufigsten Einsätzen der Feuerwehren. Im Jahr 2010 sind in Hessen Freiwillige Feuerwehr und Berufsfeuerwehr zu insgesamt 18202 Einsätzen in der Kategorie Brand und Explosionen ausgerückt.<sup>243</sup>

Die Ursache für eine Verbrennung kann eine Verbrühung, chemische Verbrennung, Strahlung oder ein Stromschlag sein.

„Die Verbrennung ist eine durch Hitze verursachte lokale Schädigung der Haut und der tiefer liegenden Gewebe, die sich im weiteren Verlauf zu einer Schädigung aller Organe und Organsysteme ausweitet.“<sup>244</sup>

Sie werden anhand von Verbrennungstiefe und Ausdehnung klassifiziert. Je nach Verbrennungstiefe wird zwischen 4 Verbrennungsgraden unterschieden. Folgende Symptome zeichnen die einzelnen Grade aus:

---

<sup>242</sup>Vgl. RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 344.

<sup>243</sup>Vgl. HESSISCHES MINISTERIUM DES INNERN UND FÜR SPORT: Jahresbericht 2010 Brandschutz Allgemeine Hilfe Katastrophenschutz. <URL: [http://www.hmdis.hessen.de/irj/servlet/prt/portal/prtroot/slimp.CMReader/HMdI\\_15/HMdI\\_Internet/med/51b/51b40673-73f9-7c21-79cd-aae2389e4818,22222222-2222-2222-2222-222222222222,true](http://www.hmdis.hessen.de/irj/servlet/prt/portal/prtroot/slimp.CMReader/HMdI_15/HMdI_Internet/med/51b/51b40673-73f9-7c21-79cd-aae2389e4818,22222222-2222-2222-2222-222222222222,true)> – Zugriff am 13.03.2012, S. 3.

<sup>244</sup>RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 418.

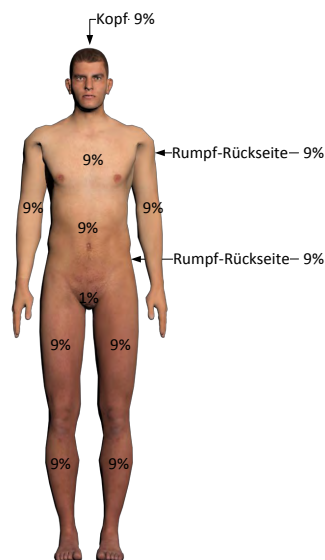
**Grad I** Rötung und leichte Schwellungen der Haut, Schmerzen, Epidermis betroffen, vollständig reversibel.

**Grad II** Blasenbildung, starke Schmerzen, Epidermis und Dermis betroffen. Je nach Heilung der Verbrennung wird diese Stufe noch in die zwei Unterkategorien IIa bei vollständiger Heilung bzw. IIb bei Narbenbildung unterteilt.

**Grad III** schwarz-weiß-Nekrosen, keine Schmerzen, da Nervenendigungen zerstört. Dermis und Subkutis betroffen, irreversibel

**Grad IV** Verbrennungen durch Strom- oder Blitzschlag. Verkochung von Muskulatur und Zerschneiden von Knochen.

Die Ausdehnung der Verbrennung wird nach der sog. „Neunerregel“ abgeschätzt. Dafür werden bei einem Erwachsenen fast alle Körperabschnitte in 9 %-Anteile aufgeteilt. Bei Kindern ist die Neunerregel aufgrund der Anatomie verschoben. Abbildung 31 zeigt die einzelnen Körperregionen mit prozentualen Anteilen der Neunerregel. Ab einer Verbrennungsausdehnung von 15 % der Körperoberfläche und



**Abbildung 31:** Einteilung der Körperregionen nach der Neunerregel

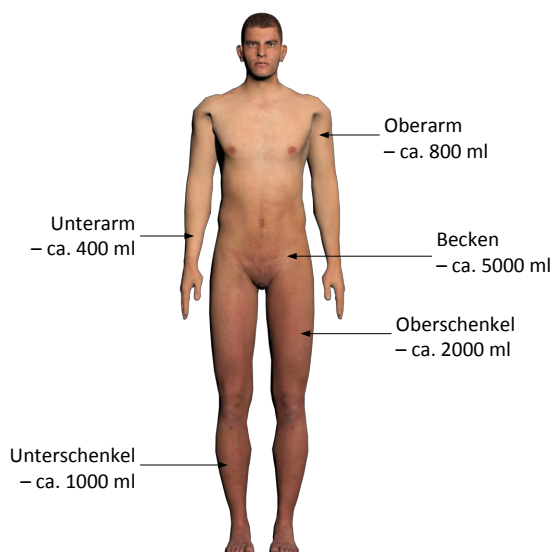
Tiefe von 2.-3. Grades besteht bei Erwachsenen akute Lebensgefahr. Bei einem Kind

bereits ab ca. 5 %.<sup>245</sup>

Im Zusammenhang mit thermischen Verletzungen treten auch Verkühlungen und Hitzeerschöpfungen auf. Diese sollen nicht weiter beachtet werden.

### 6.2.3 Frakturen

Frakturen entstehen in Unglückssituationen meist durch herumfallende Teile oder einem Sturz des Verletzten. Sie werden entweder durch direkte Gewalteinwirkung, wie Schläge bzw. Stöße oder durch indirekte Gewalteinwirkung, beispielsweise Biegung, Drehung oder Stauchung verursacht. Die Frakturen werden grundsätzlich in offene und geschlossene Frakturen unterteilt. Durch Frakturen können Weichteilverletzungen auftreten, die eine Blutung verursachen können. Die Blutung kann dabei sichtbar oder im Inneren des Körpers sein. Abbildung 32 zeigt einen möglichen Blutverlust durch innere Blutungen ausgelöst von Frakturen.



**Abbildung 32:** Möglicher Blutverlust durch Frakturen<sup>246</sup>

---

<sup>245</sup>Vgl. RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 421.

<sup>246</sup>Vgl. RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 356.

### 6.2.4 Störung der Atemwege

Sauerstoff ist ein zentraler Bestandteil des Organismus. Dieser kann einen Mangel aufgrund der geringen Reserven nur für wenige Minuten kompensieren.<sup>247</sup> Eine Störung der Atmung hat in den meisten Fällen auch eine Bewusstseinsstörung zur Folge.

Ein wichtiges Merkmal für eine störungsfreie Atmung sind freie Atemwege. Durch herumfliegende Teile oder Erbrochenes können die Atemwege auch blockiert sein.

Sind die Atemwege frei, kann Atemluft über die Lunge aufgenommen werden. Ist die Atemluft allerdings durch Gase oder ähnliches belastet, kann es zu einer Beeinflussung der Atmung kommen. Vor allem bei Bränden kommt es zu einer Vermischung der Atemluft mit Rauchgasen. Dadurch entsteht eine Vergiftung des Organismus. Eine der häufigsten Rauchgas-Vergiftungen ist die Kohlenstoffmonoxidvergiftung.<sup>248</sup> Kohlenstoffmonoxid ist ein farbloses, geruchloses und geschmackloses Gas. Es ist eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff (chemische Summenformel CO).<sup>249</sup>

Kohlenstoffmonoxid entsteht bei unvollständigen Verbrennungen und ist schwerer als Luft. Dadurch kann es Sauerstoff in unteren Lagen verdrängen und führt zum Erstickungstod.<sup>250</sup>

Das Gas wird über die Lunge in den Blutkreislauf aufgenommen und bindet sich mit dem Eisenatom des Hämoglobins. Dadurch wird der Sauerstofftransport des Blutes behindert. Da die Affinität von Kohlenstoffmonoxid zum Hämoglobin 220-mal größer ist als die von Sauerstoff, ist bereits eine kleine Konzentration in der Atemluft gefährlich.<sup>251</sup>

---

<sup>247</sup>Vgl. RETTUNGSSCHULE NIEDERSACHSEN: Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport, S. 44.

<sup>248</sup>Vgl. PLESS, G./SELIGER, U.: Entwicklung von Kohlenmonoxid bei Bränden in Räumen Teil 1. In: Ständige Konferenz der Innenminister und-Senatoren der Länder Arbeitskreis V Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Forschungsbericht. Band 145, Heyrothsberge, 2007, S. 1.

<sup>249</sup>Vgl. LÜLLMANN, H./MOHR, K./HEIN, L.: Pharmakologie und Toxikologie: Arzneimittelwirkungen verstehen - Medikamente gezielt einsetzen. 17. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2010, S. 576.

<sup>250</sup>Vgl. DÖRNER, K.: Klinische Chemie und Hämatologie: Taschenlehrbuch. 7. Auflage. Stuttgart [u.a.]: Thieme, 2009, Thieme Flexible Taschenbücher, S. 519.

<sup>251</sup>Vgl. LÜLLMANN/MOHR/HEIN: Pharmakologie und Toxikologie, S. 576.

### 6.2.5 Bewusstseinsstörungen

Als Folge von Verletzungen können Bewusstseinsstörungen auftreten. Die Ursachen von Bewusstseinsstörungen werden in die drei Gruppen Herz-Kreislauf- und Atemstörungen, lokale Ursachen und Vergiftungen eingeteilt. Da diese Kategorisierung zu grob ist, hat sich in der Notfallmedizin zur Beurteilung des quantitativen Bewusstseins die Glasgow Coma Scale etabliert. Diese vergibt Punkte anhand der Rubriken Augenöffnung, verbale Kommunikation und motorische Reaktion (vgl. Tabelle 16). Wie in Tabelle 16 zu sehen, werden hier Symptome bzw. Funktionen

**Tabelle 16:** Glasgow Coma Scale nach TEASDALE/JENNETT<sup>252</sup>

Augen öffnen	Verbale Kommunikation	Motorische Reaktion	Punkte
-	-	befolgt Aufforderungen	6 Punkte
-	konversationsfähig, orientiert	gezielte Schmerzabwehr	5 Punkte
Spontan	konversationsfähig, verwirrt	ungezielte Schmerzabwehr	4 Punkte
Aufforderung	Inadäquat	Schmerzreiz Beugesynergismen	3 Punkte
Schmerzreiz	unverständlich	Schmerzreiz Streckesynergismen	2 Punkte
keine Reaktion	keine verbale Reaktion	keine Reaktion auf Schmerzreiz	1 Punkt

des Menschen herangezogen. Es ist hier also wichtig, anhand der Kategorisierungen verschiedene Symptome und Funktionen des Menschen anzusteuern. Wichtig sind dabei die Funktionalität Augen öffnen, verbale Kommunikation und motorische Reaktion.

Weitere Störungen des Bewusstseins können durch Schocks ausgelöst werden. In Großschadenslagen tritt dabei besonders häufig ein Volumenmangelschock auf. Ein Schock ist ein Zustand, der durch die verminderte Durchblutung lebenswichtiger Organe ausgelöst wird. Der Volumenmangelschock wird vor allem durch Blutungen hervorgerufen. Er ist also eine Folge von beispielsweise Wunden oder Frakturen. Neben sichtbaren Verletzungen können auch innere Verletzungen diese Art des Schocks auslösen.

<sup>252</sup>TEASDALE, G./JENNETT, B.: Assessment of coma and impaired consciousness: A Practical Scale. In: The Lancet, 304 1974 Nr. 7872.

## 6.3 Auswirkungen von Verletzungen auf Vitalparameter

Dieser Abschnitt untersucht die Auswirkungen einzelner Verletzungen auf die Vitalparameter Puls, Blutdruck, Temperatur und Atemfrequenz. Diese werden zunächst einzeln betrachtet. Die identifizierten Verletzungsbilder ergeben drei wesentliche zu untersuchende Faktoren. Der Blutverlust bei Wunden und Frakturen, Verbrennungen der Körperoberfläche sowie Probleme der Atmung. Bei der Atmung können die Atemwege blockiert sein oder über Rauchgas Kohlenstoffmonoxid eingeatmet werden.

Zunächst sollen verschiedene Annahmen getroffen werden, die für die Berechnung der Vitalparameter nötig sind.

Der Blutverlust wird linear in Abhängigkeit der Zeit ( $t$ ) berechnet (vgl. Gleichung 6.8). Dabei können Frakturen ( $bl_{fracture}$ ) und Wunden ( $bl_{wound}$ ) zusammengefasst werden. Die aktuelle Blutmenge ( $VB$ ) ist somit die Differenz aus der initialen Blutmenge ( $VB_{init}$ ) und dem Blutverlust ( $bl_{fracture}$  und  $bl_{wound}$ ) in Abhängigkeit der Zeit ( $t$ ).

$$VB(t) = VB_{init} - \left( \sum bl_{fracture} + \sum bl_{wound} \right) \cdot t \quad (6.8)$$

$$\mathbb{D} = \{t \in \mathbb{R} | t \geq 0\}$$

Das American College of Surgeons entwickelte eine Matrix, die zur Beurteilung und Abschätzung des Blutverlustes herangezogen werden kann. Tabelle 17 führt einige Richtwerte auf, wie sich die Vitalparameter bei zunehmendem Blutverlust verändern.

**Tabelle 17:** Abschätzung des Blutverlustes nach ZIEGENFUSS<sup>253</sup>

	Grad I	Grad II	Grad III	Grad IV
Herzfrequenz	< 100	> 100	> 120	> 140
Blutdruck	normal	normal	niedrig	sehr niedrig
Puls	kräftig	schwach	schwach	fadenförmig
Atemfrequenz/min	14–20	20–30	30–40	> 35
Kapillare Reperfusion	normal	verlängert	verlängert	verlängert
Bewusstsein	normal	ängstlich	ängstlich, verwirrt	verwirrt, lethargisch
Blutverlust	< 750 ml (15 %)	750–1500 ml (15–30 %)	1500–2000 ml (30–40 %)	2000 ml (> 40 %)

<sup>253</sup>Vgl ZIEGENFUSS, THOMAS: Notfallmedizin. 4. Auflage. Heidelberg: Springer Medizin, 2007, Springer-Lehrbuch, S. 241.



Verbrennungen wirken sich je nach Schwere und Fläche der Verbrennung auf den Körper aus. Eine Verbrennung dritten Grades hat stärkeren Einfluss auf einen Vitalwert, wie eine Verbrennung ersten Grades. In Abhängigkeit des Grades der Verbrennung und der verbrannten Körperoberfläche wird ein gewichteter Vektor als Konstante ( $\vec{A}_{gf}$ ) aufgestellt (vgl. Gleichung 6.9), der den Schweregrad und die verbrannte Oberfläche gleichermaßen berücksichtigt. Nach ca. 30 % verbrannter Körperoberfläche kann der Körper dieses nicht mehr ausgleichen.

$$\vec{A}_{gf} = \begin{pmatrix} 0,2 \\ 0,7 \\ 1,0 \end{pmatrix} \quad (6.9)$$

Für die Vereinfachung der Gleichungen in Abhängigkeit der Verbrennung wird der Parameter  $bu$  eingeführt. Der Parameter  $bu$  dient als Indikator über die Schwere der Verbrennung. Er wird berechnet durch das Skalarprodukt von  $\vec{A}_{gf}$  und  $\vec{ba}$ . Der Vektor  $\vec{ba}$  repräsentiert die verbrannte Fläche des jeweiligen Grades.

$$bu = \vec{A}_{gf} \cdot \vec{ba} \quad (6.10)$$

Durch das Einatmen von Kohlenstoffmonoxid verändern sich die Vitalwerte ebenfalls. Ein wichtiger Faktor ist dabei die Bindung von Kohlenstoffmonoxid (CO) mit roten Blutkörperchen (Hb). Der daraus resultierende COHb Gehalt ( $C$ ) kann nach STEWART et al. über Gleichung 6.11 angenähert werden.<sup>254</sup> Dabei entspricht die  $CO$  dem Anteil des CO in der Atemluft in ppm,  $RMV$  dem Atemminutenvolumen und  $t$  der Länge (Minuten), die die Person dem Gas ausgesetzt ist.

$$C = (3,317 \cdot 10^{-5}) \cdot CO^{1,036} \cdot \text{ppm} \cdot RMV \cdot t \quad (6.11)$$

$$\mathbb{D} = \{t \in \mathbb{R} | t > 0 \wedge RMV > 0\}$$

Der Schockindex ( $SI$ ) dient als Orientierung zur Beurteilung eines Schocks.<sup>255</sup> Er berechnet sich als Quotient aus Pulsfrequenz ( $P$ ) und systolischem Blutdruck  $RR_{sys}$

---

<sup>254</sup>STEWART, R.D. et al.: Experimental human exposure to high concentrations of carbon monoxide. In: Archives of Environmental Health, 26 1973.

<sup>255</sup>Vgl. ZIEGENFUSS: Notfallmedizin, S. 241.

(vgl. Gleichung 6.12).

$$SI = \frac{P}{RR_{sys}} \quad (6.12)$$

In diesem Modell wird der Tod eines Patienten durch die Atmung bestimmt. Fällt die Atemfrequenz aufgrund einer Verletzung auf 0, ist der Patient nach 8 Minuten Tod.

### 6.3.1 Atemfrequenz

Die Atemfrequenz wird von den identifizierten Verletzungen beeinflusst. Aufgrund der Sauerstoffreserven kann das Minimum der Atemfrequenz über einen kurzen Zeitraum auch bei 0 liegen. Da die Atemfrequenz durch die Verletzungen steigt, ist hier nur das Maximum zu betrachten. Der Atemgrenzwert kann für die Berechnung der maximalen Atemfrequenz herangezogen werden. Er beträgt ca. 120–170 l/min und bezeichnet das während einer Minute maximal ventilierbare Volumen.<sup>256</sup> Die maximale Atemfrequenz kann nun durch Hinzuziehen des Atemzugvolumens ( $V$ ) berechnet werden (vgl. Gleichung 6.13).

$$B_{max} = \frac{(120 + x)}{V} \cdot \frac{1}{\min} \quad (6.13)$$

$$\mathbb{D} = \{x \in \mathbb{R} | 0 \leq x \leq 50\}$$

#### 6.3.1.1 Störung der Atemfunktion

Die vollständige Blockierung der Atemwege verursacht eine Atemfrequenz von 0, obwohl der Körper noch versucht zu atmen. Die Atemfrequenz soll hier nur vollständig ( $wb = 1$ ) oder nicht blockiert ( $wb = 0$ ) sein. Gleichung 6.14 integriert den Parameter  $wb$  für diese Funktionalität.

$$B(wb) = (1 - wb) \cdot B \quad (6.14)$$

$$\mathbb{D} = \{wb \in \mathbb{N} | 0 \leq wb \leq 1\}$$

---

<sup>256</sup>SCHÜNKE, M.: Der Körper des Menschen: Einführung in Bau und Funktion. 15. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2008.

Sollten die Atemwege blockiert sein, liefert  $wb$  in Abhängigkeit der Zeit ( $t$ ), die Länge der Blockierung der Atemwege (vgl. Gleichung 6.14).

$$\begin{aligned} wb(t) &= wb \cdot t \\ \mathbb{D} &= \{wb \wedge t \in \mathbb{R} | 0 \leq wb \leq 1 \wedge t > 0\} \end{aligned} \quad (6.15)$$

Im Falle der Einatmung von CO steigt die Atemfrequenz unmittelbar und erreicht bei einem COHb Anteil von 70 % ihr Maximum  $B_{max}$  (vgl. Gleichung 6.16).

$$\begin{aligned} B(C) &= \begin{cases} \frac{B_{max}-B_{init}}{0,7} \cdot C + B_{init}, & \text{wenn } 0 \leq C \leq 0,7 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \\ \mathbb{D} &= \{C \in \mathbb{R} | C \geq 0\} \end{aligned} \quad (6.16)$$

### 6.3.1.2 Blutverlust

Die Atemfrequenz ( $B(bl)$ ) bleibt zunächst bis zu einem Blutverlust von 20 % konstant. Verliert der Körper mehr Blut, steigt die Atemfrequenz stetig auf ihr Maximum ( $B_{max}$ ), das sie bei ca. 50 % erreicht (vgl. Gleichung 6.17). Anschließend kann der Körper dieses nicht mehr kompensieren und die Frequenz fällt auf 0.

$$\begin{aligned} B(bl) &= \begin{cases} B_{init} : & \text{wenn } 0 \leq bl \leq 0,2 \\ \frac{B_{max}-B_{init}}{0,3} \cdot bl - \frac{B_{max}-B_{init}}{1,5} + B_{init} : & \text{wenn } 0,2 < bl \leq 0,5 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases} \\ \mathbb{D} &= \{bl \in \mathbb{R} | bl \geq 0\} \end{aligned} \quad (6.17)$$

### 6.3.1.3 Verbrannte Körperoberfläche

Die verbrannte Körperoberfläche und der dazugehörige Grad der Verbrennung (vgl. Gleichung 6.10) lassen die Atemfrequenz  $B(bu)$  steigen. In diesem Modell steigt die Atemfrequenz linear bis zu ihrem Maximum ( $B_{max}$ ) bei einer Verbrennung von ca. 35 % (vgl. Gleichung 6.18). Die prozentuale Angabe wird ebenfalls über den Verbrennungsvektor (vgl. Gleichung 6.9) und das Skalarprodukt errechnet, um auch

Verbrennungen unterschiedlichen Grades zu berücksichtigen.

$$B(bu) = \begin{cases} bu \cdot \frac{B_{max}-B_{init}}{0,35} + B_{init} : & \text{wenn } 0 \leq bu \leq 0,35 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases} \quad (6.18)$$

$$\mathbb{D} = \{bu \in \mathbb{R} | bu \geq 0\}$$

### 6.3.2 Puls

Der Puls bzw. die Pulsfrequenz ändert sich durch die Verletzungsbilder und bewegt sich zwischen einem Minimum ( $P_{min}$ ) und Maximum ( $P_{max}$ ). Das Maximum wird in Abhängigkeit des Alters ( $y$ ) und über Gleichung 6.19 nach ROBERGS/LANDWEHR berechnet.<sup>257</sup> Die Standardabweichung beträgt 6,4 und wird als Zufallsvariable  $x$  definiert.

$$P_{max} = 205,8 - (0,685 \cdot y) + x \cdot \text{min}^{-1} \quad (6.19)$$

$$\mathbb{D} = \{x \in \mathbb{R} \wedge y \in \mathbb{N} | -6,4 \leq x \leq 6,4 \wedge y \geq 0\}$$

Als sehr niedriger und somit als Minimum wird ein Puls kleiner 40 angenommen.<sup>258</sup> Daher wird die minimale Pulsfrequenz in Gleichung 6.20 festgelegt.

$$P_{min} = 30 + x \cdot \text{min}^{-1} \quad (6.20)$$

$$\mathbb{D} = \{x \in \mathbb{R} | 0 \leq x \leq 10\}$$

#### 6.3.2.1 Blutverlust

Abhängig von Alter wird der Basispuls ( $P_{init}$ ) anhand Gleichung 6.3 bestimmt. Durch einen Blutverlust ( $bl$ ) steigt der Puls und versucht damit den Blutverlust auszugleichen. Bis zu einem Blutverlust von ca. 50 % der Blutmenge des Körpers steigt in diesem Modell der Puls linear auf den Maximalwert ( $P_{max}$ ). Anschließend lässt sich dieser Faktor als Anstieg in Abhängigkeit der Blutmenge einbauen. Ab einem Verlust von 50 % der Blutmenge ist eine Überlebenschance gering.

<sup>257</sup>ROBERGS, R.A./LANDWEHR, R.: The surprising history of the „HRmax= 220-age“ equation. In: Journal of Exercise Physiology, 5 2002 Nr. 2.

<sup>258</sup>Vgl. ERDMANN, ERLAND: Klinische Kardiologie: Krankheiten des Herzens, des Kreislaufs und der herznahen Gefäße. 8. Auflage. Heidelberg: Springer Medizin, 2011, SpringerLink : Bücher; ANDREAE, SUSANNE: Gesundheits- und Krankenpflege: EXPRESS Pflegewissen. Stuttgart: Thieme, 2009, EXPRESS Pflegewissen.

$$P(bl) = \begin{cases} bl \cdot 2 \cdot (P_{max} - P_{init}) + P_{init} : & \text{wenn } 0 \leq bl \leq 0,5 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases} \quad (6.21)$$

$$\mathbb{D} = \{bl \in \mathbb{R} | bl \geq 0\}$$

### 6.3.2.2 Verbrannte Körperoberfläche

Anhand des aktuellen Verbrennungsvektors ( $ba$ ) und dem Skalarprodukt mit dem gewichteten Verbrennungsvektor kann der Einfluss der Verbrennungen unterschiedlichen Grades auf den Puls ( $P(bu)$ ) linear interpoliert werden. Ab einer verbrannten Oberfläche von 35 % ist der Maximalpuls ( $P_{max}$ ) erreicht und die Überlebenschance sehr gering.

$$P(bu) = \begin{cases} bu \cdot \frac{P_{max} - P_{init}}{0,35} + P_{init} : & \text{wenn } 0 \leq bu \leq 0,35 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases} \quad (6.22)$$

$$\mathbb{D} = \{bu \in \mathbb{R} | bu \geq 0\}$$

### 6.3.2.3 Störung der Atemfunktion

Die Atmung kann in diesem Modell durch zwei Faktoren gestört sein. Zum einen können die Atemwege blockiert sein. Dieses hat zur Folge, dass gar keine Luft geatmet werden kann. Nach bereits 1-2 Minuten (je nach Ausdauer) sind die Sauerstoffreserven des Körpers verbraucht und der Körper versucht den mangelnden Sauerstoff über einen höheren Puls auszugleichen. Nach der verstrichenen Zeitspanne ( $t$ ) steigt er stetig bis ca. nach 8 min der Maximalpuls ( $P_{max}$ ) erreicht ist.

$$P(wb(t)) = \begin{cases} P_{init} : & \text{wenn } 0 \leq t \leq 2 \\ \frac{P_{max} - P_{init}}{6} \cdot wb(t) - 4 \cdot \frac{P_{max} - P_{init}}{3} + P_{max} : & \text{wenn } 2 < t \leq 8 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases} \quad (6.23)$$

$$\mathbb{D} = \{wb(t) \in \mathbb{R} | wb(t) > 0\}$$

Zum anderen kann eine Vergiftung durch Kohlenstoffmonoxid vorliegen. Abhängig des durch Kohlenstoff gebundenen Hämoglobins im Blut verändert sich der Puls ( $P(C)$ ). Ab 10 % COHb Konzentration im Blut beginnt der Körper auf die Vergiftung zu

reagieren und erhöht den Puls auf den Maximalpuls ( $P_{max}$ ) bis zu einer Konzentration von 50 %. Durch Ohnmacht senkt sich der Puls wieder auf sein Minimum ( $P_{min}$ ), das bei ca. 70 % erreicht ist.

Entsprechend des COHb-Gehaltes im Blut wird Gleichung 6.24 aufgestellt.

$$P(C) = \begin{cases} P_{init} : & \text{wenn } 0 \leq C \leq 0,1 \\ \frac{P_{max}-P_{init}}{0,4} \cdot C + P_{max} - \frac{P_{max}-P_{init}}{0,4} \cdot 0,5 : & \text{wenn } 0,1 < C \leq 0,5 \\ \frac{P_{min}-P_{max}}{-0,2} \cdot C + P_{min} - \frac{P_{min}-P_{max}}{-0,2} \cdot 0,7 : & \text{wenn } 0,5 < C \leq 0,7 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases} \quad (6.24)$$

$$\mathbb{D} = \{C \in \mathbb{R} | C > 0\}$$

### 6.3.3 Arterieller Blutdruck

Zur Berechnung des arteriellen Blutdrucks in Abhängigkeit von den Verletzungen müssen auch hier Annahmen über die minimalen und maximalen Werte getroffen werden. Die World Health Organisation (WHO) klassifiziert die Hypertonie in die Blutdruckbereiche nach Tabelle 18.<sup>259</sup>

**Tabelle 18:** Klassifikation des arteriellen Blutdrucks nach DEUTSCHE HOCHDRUCK-LIGA E.V.<sup>260</sup>

Blutdruckart	systolisch (mm Hg)	diastolisch (mm Hg)
optimaler Blutdruck	< 120	< 80
normaler Blutdruck	120–129	80–84
hoch-normaler Blutdruck	130–139	85–89
milde Hypertonie (Stufe 1)	140–159	90–99
mittlere Hypertonie (Stufe 2)	160–179	100–109
schwere Hypertonie (Stufe 3)	> 180	> 110
isolierte systolische Hypertonie	> 140	> 90

Ein hoher Blutdruckwert besteht während einer schweren Hypertonie. Daher wird in diesem Modell von diesen Werten als Maximum ausgegangen (systolisch 180 mmHg, diastolisch 110 mmHg).

<sup>259</sup>CHALMERS, J. et al.: 1999 World Health Organization-International Society of Hypertension Guidelines for the management of hypertension. Guidelines sub-committee of the World Health Organization. In: Clinical and experimental hypertension, 21 1999 Nr. 5-6.

<sup>260</sup>DEUTSCHE HOCHDRUCKLIGA E.V.: Behandlung der arteriellen Hypertonie.  $\langle$ URL: [http://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/046-001\\_S2\\_Behandlung\\_der\\_arteriellen\\_Hypertonie\\_06-2008\\_06-2013.pdf](http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/046-001_S2_Behandlung_der_arteriellen_Hypertonie_06-2008_06-2013.pdf) $\rangle$  – Zugriff am 15.05.2010, S. 10.

Ein niedriger Wert entsteht bei einer Hypotonie. Eine Hypotonie liegt im Allgemeinen vor, wenn systolischer Blutdruckwert unter 100 mmHg liegt.<sup>261</sup> Der mSTART-Algorithmus definiert als kritischen Befund einen systolischen Wert von weniger als 90 mmHg, weshalb von einem Wert unter 90 ausgegangen wird.<sup>262</sup> Als niedriger diastolischer Blutdruckwert wird 70 mmHg angenommen.<sup>263</sup>

Die systolischen ( $RR_{sys-min}$ ) bzw. diastolischen ( $RR_{dia-min}$ ) Minimal- und Maximalwerte ( $RR_{sys-max}$ ,  $RR_{dia-max}$ ) werden für die nachfolgenden Berechnungen in den Gleichungen 6.25, 6.26, 6.27 und 6.28 festgelegt.

$$RR_{sys-min} = (90 - x) \cdot \text{mmHg} \quad (6.25)$$

$$\mathbb{D} = \{x \in \mathbb{R} | 0 < x < 10\}$$

$$RR_{sys-max} = 180 \cdot \text{mmHg} \quad (6.26)$$

$$RR_{dia-min} = 70 \cdot \text{mmHg} \quad (6.27)$$

$$RR_{dia-max} = 110 \cdot \text{mmHg} \quad (6.28)$$

### 6.3.3.1 Blutverlust

Auch der Blutdruck verändert sich proportional bei einem Blutverlust. Allerdings fällt dieser, im Gegensatz zur Pulsfrequenz, aufgrund des Mangels an Volumen im Kreislauf. Der systolische und diastolische Wert ( $RR_{sys}(bl)$  und  $RR_{dia}(bl)$ ) fällt bis zur Grenze von ca. 50 % Blutverlust auf das jeweilige Minimum ( $RR_{sys-min}$  und  $RR_{dia-min}$ ). Ab einem Blutverlust von über 50 % ist auch hier die Überlebenswahrscheinlichkeit gering. Gleichung 6.29 und 6.30 beschreiben die jeweiligen Funktionen in diesem Modell.

$$RR_{sys}(bl) = \begin{cases} bl \cdot 2 \cdot (RR_{sys-min} - RR_{sys-init}) + RR_{sys-init} : & \text{wenn } 0 \leq bl \leq 0,5 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases}$$

$$\mathbb{D} = \{bl \in \mathbb{R} | bl \geq 0\} \quad (6.29)$$

---

<sup>261</sup>Vgl. ERDMANN: Klinische Kardiologie, S. 252.

<sup>262</sup>Vgl. KANZ et al.: Notfall + Rettungsmedizin, Bd. 9, 2006, S. 266.

<sup>263</sup>Vgl. BAENKLER, HANNS-WOLF: Innere Medizin. Sonderausgabe Auflage. Stuttgart: Thieme, 2001, S. 744.

$$RR_{dia}(bl) = \begin{cases} bl \cdot 2 \cdot (RR_{dia-min} - RR_{dia-init}) + RR_{dia-init} : & \text{wenn } 0 \leq bl \leq 0,5 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases}$$

$$\mathbb{D} = \{bl \in \mathbb{R} | bl \geq 0\}$$

(6.30)

### 6.3.3.2 Verbrannte Körperoberfläche

Die verbrannte Körperoberfläche ( $bu$ ) beeinflusst den Blutdruck ( $RR_{sys}(bu)$  und  $RR_{dia}(bu)$ ) negativ. In diesem Modell fällt der Blutdruck mit zunehmendem Verbrennungsgrad linear bis zum jeweiligen Minimum ( $RR_{sys-min}$  und  $RR_{dia-min}$ ). Über den Verbrennungsvektor (vgl. Gleichung 6.9) und das Skalarprodukt kann der Einfluss der Verbrennungen unterschiedlichen Grades berücksichtigt werden.

$$RR_{sys}(bu) = \begin{cases} bu \cdot \frac{RR_{sys-min} - RR_{sys-init}}{0,35} + RR_{sys-init} : & \text{wenn } 0 \leq bu \leq 0,35 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases}$$

(6.31)

$$\mathbb{D} = \{bu \in \mathbb{R} | bu > 0\}$$

$$RR_{dia}(bu) = \begin{cases} bu \cdot \frac{RR_{dia-min} - RR_{dia-init}}{0,35} + RR_{dia-init} : & \text{wenn } 0 \leq bu \leq 0,35 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases}$$

(6.32)

$$\mathbb{D} = \{bu \in \mathbb{R} | bu > 0\}$$

### 6.3.3.3 Störung der Atemfunktion

Bei blockierten Atemwegen steigt der Blutdruck ab ca. 1–2 Minuten stetig bis ca nach 8 min das jeweilige Maximum ( $RR_{sys-max}$  und  $RR_{dia-max}$ ) erreicht ist. Nach der verstrichenen Zeitspanne ( $t$ ) fällt er auf 0. Gleichung 6.33 und 6.34 berechnen



die jeweiligen Blutdruckwerte.

$$RR_{sys}(wb(t)) = \begin{cases} RR_{sys-init} : & \text{wenn } 0 \leq t \leq 2 \\ \frac{RR_{sys-max} - RR_{sys-init}}{6} \cdot wb(t) - \\ \quad 4 \cdot \frac{RR_{sys-max} - RR_{sys-init}}{3} + RR_{sys-max} : & \text{wenn } 2 < t \leq 8 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases}$$

$$\mathbb{D} = \{wb(t) \in \mathbb{R} | wb(t) > 0\}$$

(6.33)

$$RR_{dia}(wb(t)) = \begin{cases} RR_{dia-init} : & \text{wenn } 0 \leq t \leq 2 \\ \frac{RR_{dia-max} - RR_{dia-init}}{6} \cdot wb(t) - \\ \quad 4 \cdot \frac{RR_{dia-max} - RR_{dia-init}}{3} + RR_{dia-max} : & \text{wenn } 2 < t \leq 8 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases}$$

$$\mathbb{D} = \{wb(t) \in \mathbb{R} | wb(t) > 0\}$$

(6.34)

Durch eine Vergiftung mit Kohlenstoffmonoxid verändert sich der Blutdruck ähnlich wie bei blockierten Atemwegen. Ab 10 % COHb Konzentration im Blut beginnt der Körper auf die Vergiftung zu reagieren und erhöht den Blutdruck ( $RR_{sys}(C)$  und  $RR_{dia}(C)$ ) auf das jeweilige Maximum ( $RR_{sys-max}$  und  $RR_{dia-max}$ ) bei einer Konzentration von 50 %. Durch Ohnmacht senkt sich der Blutdruck wieder auf sein Minimum, das bei 70 % erreicht ist.

Entsprechend dem COHb-Gehalt im Blut werden die Gleichungen 6.35 und 6.36

aufgestellt.

$$RR_{sys}(C) = \begin{cases} RR_{sys-init} : & \text{wenn } 0 \leq C \leq 0,1 \\ \frac{RR_{sys-max} - RR_{sys-init}}{0,4} \cdot C + RR_{sys-max} & \\ - \frac{RR_{sys-max} - RR_{sys-init}}{0,4} \cdot 0,5 : & \text{wenn } 0,1 < C \leq 0,5 \\ \frac{RR_{sys-min} - RR_{sys-max}}{-0,2} \cdot C + RR_{sys-min} & \\ - \frac{RR_{sys-min} - RR_{sys-max}}{-0,2} \cdot 0,7 : & \text{wenn } 0,5 < C \leq 0,7 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases} \quad (6.35)$$

$\mathbb{D} = \{C \in \mathbb{R} | C > 0\}$

$$RR_{dia}(C) = \begin{cases} RR_{dia-init} : & \text{wenn } 0 \leq C \leq 0,1 \\ \frac{RR_{dia-max} - RR_{dia-init}}{0,4} \cdot C + RR_{dia-max} & \\ - \frac{RR_{dia-max} - RR_{dia-init}}{0,4} \cdot 0,5 : & \text{wenn } 0,1 < C \leq 0,5 \\ \frac{RR_{dia-min} - RR_{dia-max}}{-0,2} \cdot C + RR_{dia-min} & \\ - \frac{RR_{dia-min} - RR_{dia-max}}{-0,2} \cdot 0,7 : & \text{wenn } 0,5 < C \leq 0,7 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases} \quad (6.36)$$

$\mathbb{D} = \{C \in \mathbb{R} | C > 0\}$

### 6.3.4 Temperatur

In diesem Modell tritt eine Temperaturveränderung nur nach dem Tod auf. Dieser wird aufgrund der bisher vorgestellten Verletzungen und der Möglichkeiten während der Triage festgelegt. Des Weiteren ist die Temperatur kein eindeutiges Merkmal bei den hier auftretenden Verletzungen. Im Falle des Todes passt sich die Temperatur des Körpers an die Umgebungstemperatur ( $UT$ ) über die Zeit an. In diesem Modell wird von einer Abkühlung des Körpers im Durchschnitt von ca. 1 °C pro Stunde

(vgl. CHENG/BOSTWICK<sup>264</sup>) ausgegangen.

$$T(v) = \begin{cases} T_{init} : & \text{wenn } v = 1 \\ T - (1 \cdot t) : & \text{wenn } v = 0 \wedge T > UT \\ UT : & \text{sonst} \end{cases} \quad (6.37)$$

$$\mathbb{D} = \{t \in \mathbb{R} \wedge v \in \mathbb{N} | t > 0 \wedge 0 \leq v \leq 1\}$$

## 6.4 Anwendung von Erster Hilfe bei Verletzungen

Grundsätzlich wird die Versorgung der Verletzten vom Rettungsdienst übernommen. Es kommt jedoch auch zu Situationen, in denen die Einsatzkräfte die Verletzten zunächst versorgen müssen. Deshalb sind Einsatzkräfte von Feuerwehr und THW aufgrund der Ausbildung (vgl. Feuerwehrdienstvorschriften: Ausbildung der Freiwilligen Feuerwehren: FwDV 2 und Basisausbildung im THW Prüfungsvorschrift) verpflichtet, einen Erste-Hilfe-Lehrgang (8 Doppelstunden) durchzuführen und diesen in einer festgelegten Frist aufzufrischen.

An dieser Stelle werden hier die Maßnahmen aufgeführt, die Einfluss auf die Vitalparameter haben und in einer Katastrophe bzw. Großschadenslage Anwendung finden.

Unter Bedingungen eines Großschadensereignisses wird die Aufrechterhaltung der Vitalfunktionen Atmung und Kreislauf auf wenige lebensrettende Sofortmaßnahmen mit einfachen Mitteln beschränkt.<sup>265</sup> Aufgrund der vorgegebenen Sichtungsalgorithmen (vgl. Abschnitt 3.1.5) kann sich hier auf folgende Maßnahmen beschränkt werden.

### 6.4.1 Freimachen der Atemwege

Um blockierte Atemwege freizumachen, sollte als erste Maßnahme das Überstrecken des Kopfes durchgeführt werden. Gerade bei bewusstlosen Patienten ist diese Maßnahme wichtig, da der Kiefer in diesem Zustand die Atemwege zudrücken kann. Ein

<sup>264</sup>CHENG, L./BOSTWICK, D.G.: Essentials Of Anatomic Pathology. 2. Auflage. Totowa, N.J.: Humana Press, 2006, S. 91.

<sup>265</sup>Vgl. WEIDRINGER, JOHANN WILLHELM; KATASTROPHENHILFE, BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ UND (Hrsg.): Katastrophenmedizin: Leitfaden für die ärztliche Versorgung im Katastrophenfall. 5. Auflage. München, 2010, S. 57 ff.

weiterer Aspekt sind Objekte im Mundraum. Objekte aus dem Mundraum können nach dem Überstrecken entfernt werden.

Beide Verfahren können die blockierten Atemwege freimachen und die Atmung kann dadurch wieder einsetzen. In Gleichung 6.14 wurde der Parameter  $wb$  eingeführt. Dieser erhält den Wert 1 wenn ein Überstrecken ( $U$ ) erforderlich oder sich Objekte im Mundraum ( $O$ ) befinden.

$$wb = \begin{cases} 1 : & \text{wenn } U = 1 \vee O = 1 \\ 0 : & \text{sonst} \end{cases} \quad (6.38)$$

$$\mathbb{D} = \{U \wedge O \in \mathbb{N} | 0 \leq U \leq 1 \wedge 0 \leq O \leq 1\}$$

Ist die Atmung des Verletzten anschließend wieder vorhanden, der Verletzte aber noch bewusstlos, soll er in die Stabile Seitenlage gelegt werden. Die Stabile Seitenlage verhindert das Blockieren der Atemwege, da auch hier der Kopf überstreckt wird. Einen weiteren Einfluss auf die anderen Vitalparameter hat die Stabile Seitenlage aber nicht.

### 6.4.2 Lagerungstherapie

Besteht eine Störung des Kreislaufs, liegt meist ein Volumenmangel vor. Eine Therapie sollte mit dem intravenösen Ersatz der Flüssigkeit stattfinden. Diese Therapie kann allerdings nur von ausgebildeten Einsatzkräften durchgeführt werden.

Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe schreibt in Katastrophenmedizin:

„Obwohl die adäquate Therapie eines Volumenmangels in dem intravenösen Ersatz der Flüssigkeit besteht, bedeutet eine derartige Infusionstherapie eine erhebliche zeitliche und personelle Belastung, weshalb vordergründig lediglich die Lagerungstherapie infrage kommt. Durch eine Kopftieflage in einem Winkel von ca.  $15^\circ$  kann eventuell mit dem verbliebenen Blutvolumen, besonders aus den unteren Extremitäten, die zerebrale Perfusion verbessert werden. Auch das zusätzliche Anheben der Beine (nicht bei Vorliegen von Frakturen der unteren Extremitäten) kann eine körpereigene Volumenauffüllung bewirken (Autotransfusion).“<sup>266</sup>

---

<sup>266</sup>WEIDRINGER: Katastrophenmedizin, S. 120.

Die hier angewendete Lagerungstherapie wird auch Schocklage genannt. Über die tatsächliche Verbesserung im Schockzustand sind nur wenige verlässliche Quellen verfügbar und es wird über den Einsatz der Schocklagerung diskutiert (vgl. ADAMS et al.).<sup>267</sup> Da die Lagerung als Therapie vorgeschlagen wird, wird sie als Parameter in das Vitalmodell integriert. Im Falle eines Schockindex  $> 0,9$  erhöht die Lagerung den Blutdruck und senkt die Pulsfrequenz einmalig zur Zeit  $t$ . Dieses wird durch den Parameter  $sl$  dargestellt (vgl. Gleichung 6.39, 6.40 und 6.41) und ist entsprechend zu setzen.

$$RR_{sys}(sl, t) = RR_{sys}(t) \cdot \frac{100 + sl}{100} \quad (6.39)$$

$$\mathbb{D} = \{sl \wedge t \in \mathbb{R} | 0 \leq sl \leq 10 \wedge t \geq 0\}$$

$$RR_{dia}(sl, t) = RR_{dia}(t) \cdot \frac{100 + sl}{100} \quad (6.40)$$

$$\mathbb{D} = \{sl \wedge t \in \mathbb{R} | 0 \leq sl \leq 10 \wedge t \geq 0\}$$

$$P(sl, t) = P(t) \cdot \frac{100 - sl}{100}, [0, 10] = \{t \in \mathbb{R} | 0 \leq sl \leq 10\} \quad (6.41)$$

$$\mathbb{D} = \{sl \wedge t \in \mathbb{R} | 0 \leq sl \leq 10 \wedge t \geq 0\}$$

### 6.4.3 Wundversorgung

Durch Verbände können Blutungen mittels Druckverband gestillt bzw. gehemmt werden. Durch einen angelegten Druckverband wird der Blutverlust der Wunde gemindert. Dieses trifft allerdings nur auf offene Wunden an Extremitäten zu. Frakturen und innere Blutungen sollten bzw. können damit nicht gestillt werden. Gleichung 6.8 wird daher um den Faktor  $to$  ergänzt. Der Faktor  $to$  wird je nach Wunde eingestellt und hemmt den Blutverlust pro Minute.

$$bl_{wound}(to) = to \cdot bl_{wound} \quad (6.42)$$

$$\mathbb{D} = \{to \in \mathbb{R} | 0 \leq to \leq 1\}$$

---

<sup>267</sup>ADAMS, H. et al.: Stellungnahme der Sektion „Schock“ der DIVI zur Schocklage. In: Notarzt, 28 2012.

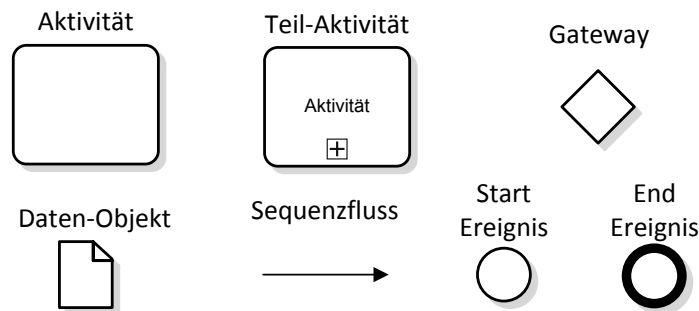
## 7 Erstellung von Avataren für Katastrophensimulationen

Dieses Kapitel beschreibt die durch die aufgestellten Anforderungen an die Avatare notwendig gewordenen Arbeitsprozesse für eine effektive Entwicklung von Avataren für Katastrophensimulationen. Dabei wird zunächst ein allgemeiner Prozess beschrieben, wie die Avatare mit den entsprechenden Tools bearbeitet, exportiert und für die Verwendung in der Game-Engine aufbereitet werden. Aufgrund der Erweiterung der Arbeitsabläufe von TÜMMLER, JÖRN wird zur Notation der Arbeitsschritte die Business Process Model and Notation (BPMN) eingesetzt.<sup>268</sup> Die BPMN ist eine grafische Notation zur Darstellung von Geschäftsprozessen. Die Notation wurde speziell für die Koordinierung von Prozessabläufen und Nachrichten zwischen Prozessen entwickelt. Eine Beschreibung aller Objekte ist auf der BPMN-Webseite zu finden.<sup>269</sup> Die wichtigsten Objekte zur Notation der Arbeitsabläufe des Avatar-Entwicklungsprozess sind in Abbildung 33 dargestellt. Die Arbeitsabläufe bestehen aus Aktivitäten. Diese sind durch eine oder mehrere Beziehungen miteinander verknüpft. Sie können auch mehrere Aktivitäten zusammenfassen. Diese werden durch ein Plus in der Aktivität gekennzeichnet. Die Pfeile zwischen den Aktivitäten beschreiben den Sequenzfluss. Verzweigungen werden über Gateways realisiert. Neben den Aktivitäten werden Ereignisse und Daten bei der BPMN eingesetzt. Typische Ereignisse sind beispielsweise Start- und End-Ereignis.

---

<sup>268</sup>OBJECT MANAGEMENT GROUP, INC.: Business Process Model and Notation. (URL: <http://www.bpmn.org/>) – Zugriff am 02.11.2011.

<sup>269</sup>Vgl. OBJECT MANAGEMENT GROUP: Business Process Model and Notation.



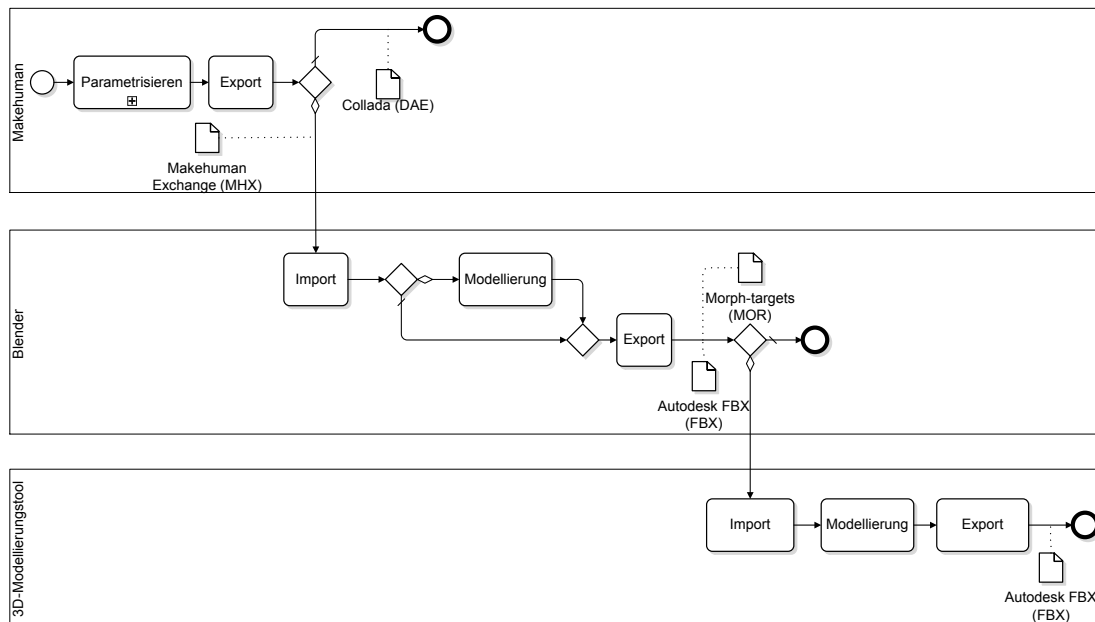
**Abbildung 33:** Darstellung verschiedener Notationsblöcke in BPMN

## 7.1 Grundlegende Vorgehensweise

Wie in Kapitel 5 dargestellt, werden verschiedene Tools eingesetzt, um die Avatare in das Zielformat Autodesk FBX für die Game-Engine Unity 3D zu bringen. Abbildung 34 stellt die grundsätzliche Vorgehensweise zur Nutzung des Avatars in der Game-Engine dar. Zunächst wird der Avatar mit der Software MakeHuman parametrisiert. Diese Aktivität unterscheidet sich je nach Art der Beteiligten und wird in Abschnitt 7.4 und 7.5 aufgrund der Fallunterscheidung detaillierter dargestellt. Sollten keine weiteren Modellierungsmaßnahmen erforderlich sein, kann der Avatar in das DAE-Format exportiert werden. Dieses Format kann sowohl Unity 3D als auch ein 3D-Modellierungstool verarbeiten. Je nach Avatar-Art muss das richtige Rig bzw. Skelett (Simple-Rig, mhX-Rig) ausgewählt werden. Für dieses Format sind bereits Standardanimationen wie Gehen, Laufen und Stehen verfügbar.

Sind weitere Modellierungen notwendig, muss der Avatar als MHX-Format gespeichert werden. Dieses kann anschließend in Blender importiert werden. Das MHX Format wird hier gewählt, da die meisten Merkmale des MakeHuman-Avatars in diesem Format integriert sind. Die Entwicklung und Interoperabilität dieses Formats wird ständig ausgebaut.<sup>270</sup> In Blender können nun Modellierungsmaßnahmen angewendet werden. Sind die Modellierungsmaßnahmen fertiggestellt, wird der Avatar in das Autodesk FBX-Format exportiert.

<sup>270</sup>Vgl. MAKEHUMAN TEAM: Changes io\_import\_scene\_mhx.py. (URL: [http://code.google.com/p/makehuman/source/list?path=/trunk/makehuman/tools/blender26x/mhx\\_importer/io\\_import\\_scene\\_mhx.py&start=3478](http://code.google.com/p/makehuman/source/list?path=/trunk/makehuman/tools/blender26x/mhx_importer/io_import_scene_mhx.py&start=3478)) – Zugriff am 03.07.2012.



**Abbildung 34:** Aktivitäten zur Erstellung eines Avatars mit MakeHuman, 3D-Modellierungstools und Bereitstellung im Autodesk FBX-Format

Sollte der Anwender andere 3D-Modellierungstools verwenden, wird nach dem Import des Avatars in Blender empfohlen, den Avatar in das Autodesk FBX-Format zu exportieren. Der Exporter von Blender unterstützt beim Export Bone-based- und Morph-target-Animationen. Diese Animationen stehen damit auch anderen Tools zur Verfügung.

Um die Avatare in Unity 3D zu nutzen, sollte der Avatar in das Autodesk FBX-Format exportiert werden. Werden Morph-targets beim Avatar verwendet, müssen sie mit dem Mega-Fiers-Morph-target-Exporter (.mor) ebenfalls exportiert werden.

Bei der Erstellung der Avatare sollten die Anforderungen der Game-Engine eingehalten werden, um die Simulationen innerhalb der Game-Engine performant durchzuführen. Unity 3D empfiehlt bei der Erstellung der Avatare die vier folgenden Grundsätze:<sup>271</sup>

- Einzelner Skinning Renderprozess
- Verwendung von möglichst wenigen Materialien/Texturen

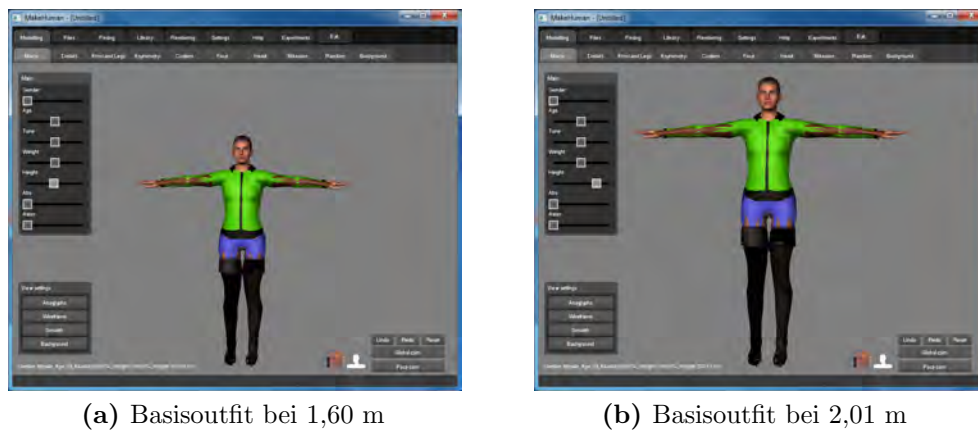
<sup>271</sup>UNITY TECHNOLOGIES: Modeling Characters for Optimal Performance. (URL: <http://docs.unity3d.com/Documentation/Manual/ModelingOptimizedCharacters.html>) – Zugriff am 05.05.2011.



- Verwendung von wenigen Knochen
- Niedrige Polygonzahl

### 7.2 Entwicklung von Kleidung

Großschadenslagen oder Katastrophen haben viele Beteiligte. Unterscheidung wird erreicht durch Kleidung oder Individualität der Avatare. Die Individualität der Avatare kann über die Parametrisierung in MakeHuman realisiert werden. Der Vorteil dieser Kleidungsstücke ist die dynamische Anpassung an die Parameter des Avatars. Wird der Avatar auf eine andere Größe eingestellt, passt sich die Kleidung an (vgl. Abbildung 35). MakeHuman liefert bereits einige wenige Kleidungsstücke mit



**Abbildung 35:** Dynamische Anpassung von Kleidung bei parametrisierten Avataren

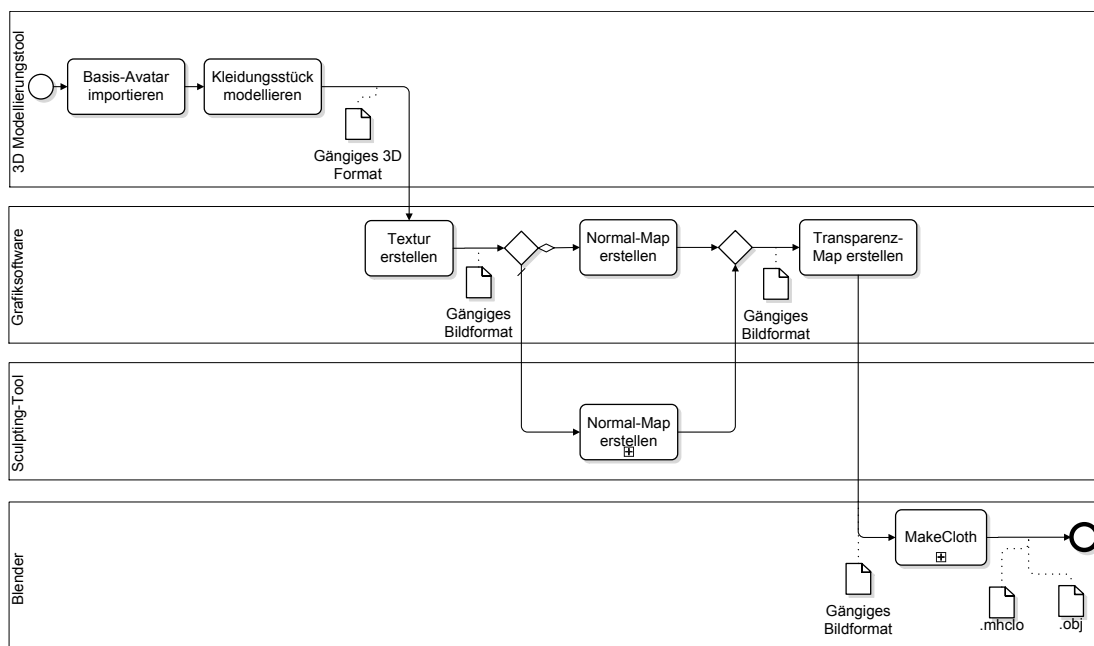
der Software aus. Die Bibliothek umfasst allerdings keine alltäglichen Kleidungsstücke wie Pullover, Jeans und Schuhe (vgl. Abbildung 36). Daher muss die Bibliothek erweitert werden.

Die Aktivitäten zur Erstellung von Kleidungsstücken sind in Abbildung 37 dargestellt. Kleidungsstücke können mithilfe von Blender und Skripten für MakeHuman bereitgestellt werden. Dazu wird zunächst das Kleidungsstück benötigt. Dieses kann mit den bekannten 3D-Modellierungstools erstellt werden.

Da sich die Kleidungsstücke dynamisch an den Avatar anpassen, ist es von Vorteil den Basis-Avatar (vgl. Abbildung 38) als Referenz zu nutzen, um das Kleidungsstück für diesen zu modellieren und anzupassen. Dieser ist mit Hilfsobjekten ausgestattet,

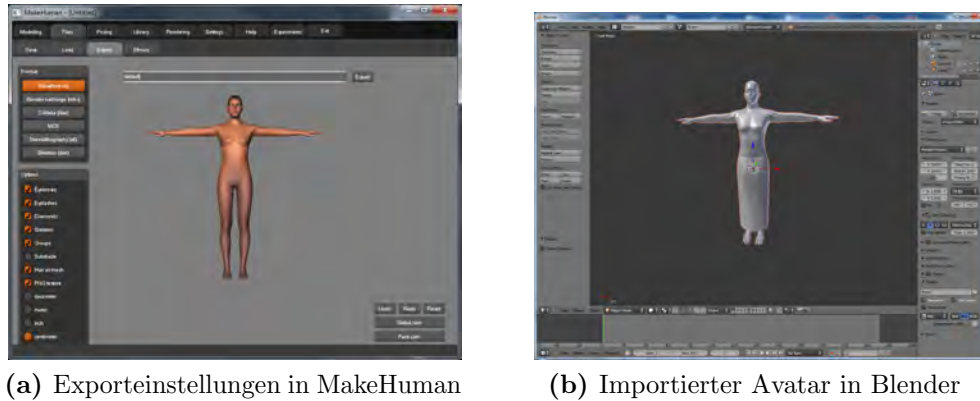


**Abbildung 36:** Kleidungsbibliothek von MakeHuman



**Abbildung 37:** Aktivitäten zur Erstellung von Kleidungsstücken für Avatare

die im späteren Verlauf für die Generierung von Kleidung benötigt werden. Die Hilfsobjekte werden mit der Option *Diamonds, Eyebrows und Eyelashes* (vgl. Abbildung 38 (a)) exportiert.



**Abbildung 38:** Basis-Avatar exportiert aus MakeHuman (a) und importiert in Blender (b)

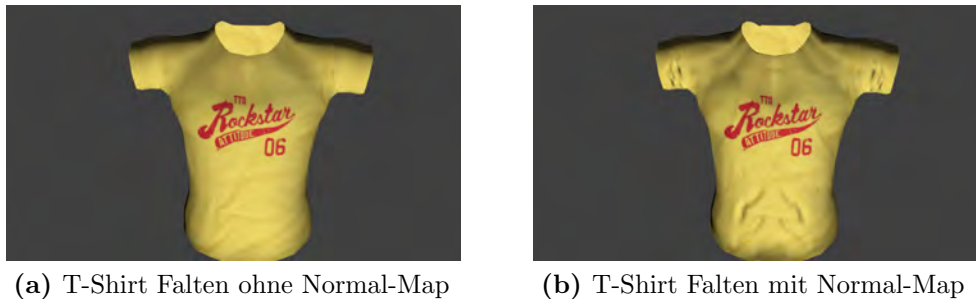
Bei der Erstellung der Kleidungsstücke sollte polygonoptimiert modelliert werden, da die Kleidung für die zwei Gruppen Verletzte und Schaulustige verwendet werden sollen.

Nach der Aktivität Modellierung muss eine Textur für das Kleidungsstück erstellt werden. Texturen werden genutzt, um das 3D-Objekt mit einem Bild zu versehen. Dieses wird durch die UV-Koordinaten des Texture-Mappings erreicht (vgl. Abschnitt 2.1.2). Damit die Game-Engine das 3D-Objekt optimiert und schnell darstellen kann, müssen die Dimensionen (Höhe und Breite) der Texturen  $2^n$  erfüllen. Für die Individualität der Kleidung kann die Textur in verschiedenen Farben und Motiven erstellt werden. Durch den Einsatz von mehreren Texturen für ein Kleidungsstück vermindert sich der Aufwand der Modellierung.

Eine Technologie für ein realistischeres Aussehen von Low-Polygon-Modellen sind Normal-Maps. Mit Normal-Maps kann die Oberfläche des 3D-Modells mit mehr Details versehen werden. Normal-Maps basieren auf den drei Farben Rot, Grün und Blau. Jede Farbe der Normal-Map charakterisiert dabei einen Winkel, wie schräg die Fläche ist.<sup>272</sup> Vor allem bei Niedrig- bzw. Low-Polygon-Netzen kann somit ein höherer Grad an Details geschaffen werden. Abbildung 39 verdeutlicht den Einsatz

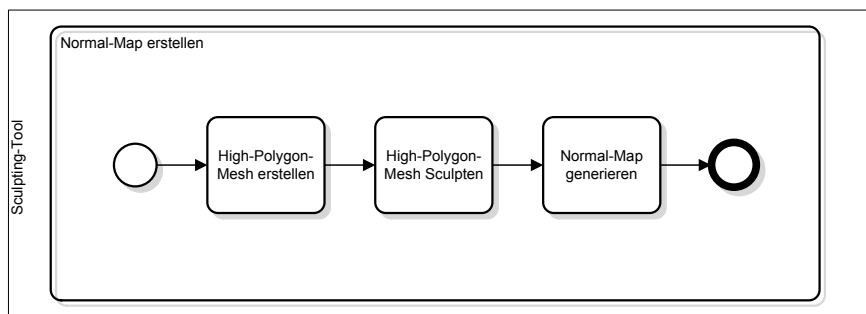
<sup>272</sup>Vgl. FLAVELL, L.: Beginning Blender: Open Source 3D Modeling, Animation, and Game Design. New York: Apress, 2010, Apress Series, S. 114.

von Normal-Maps an einem T-Shirt in Blender. Eine Möglichkeit zur Erstellung von



**Abbildung 39:** Erzeugen von Falten auf einem T-Shirt mit dem Einsatz von Normal-Maps

Normal-Maps basiert auf 3D-Sculpting-Tools (auch Digitales Sculpting genannt). Die Arbeitsschritte sind in Abbildung 40 dargestellt. Mit Sculpting-Tools werden



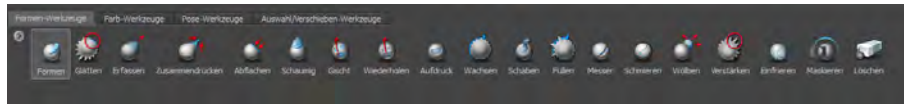
**Abbildung 40:** Aktivitäten zur Erstellung einer Normal-Map mit 3D-Sculpting-Tools

klassische Bildhauer-Techniken bei digitalen 3D-Modellen eingesetzt.<sup>273</sup> Bei der Sculpting Technik kann Geometrie auf das 3D-Modell mit verschiedenen Werkzeugen aufgetragen werden und so in Anlehnung an Bildhauer ein plastisches Kunstwerk erstellt werden. Diese können in eine Normal-Map transferiert werden. Dazu muss zunächst eine höhere Auflösung des Low-Polygon-Modells erstellt werden. Dieses kann mit sog. Smoothing-Algorithmen<sup>274</sup> automatisch generiert werden. Auf diesem Modell kann nun die Geometrie mit Form-Werkzeugen aufgetragen werden. Verschiedene

<sup>273</sup>Vgl. SPENCER, SCOTT: Zbrush Character Creation: Advanced Digital Sculpting. 2. Auflage. Indianapolis, Ind.: Wiley, 2011, Serious skills, S. 1 ff.

<sup>274</sup>Auch Glättungsalgorithmen genannt

Vorlagen stehen dazu in den Tools zur Verfügung (vgl. Abbildung 41). Ist das 3D-Modell fertig bearbeitet, kann aus dem fertigen High-Polygon-Modell eine mit dem Low-Polygon-Modell kompatible Normal-Map generiert werden. Eine weitere Variante



**Abbildung 41:** Sculpting Pinsel in Autodesk Mudbox

zur Erstellung von Normal-Maps ist mithilfe von Bild-Filtern möglich. NVIDIA bietet für Adobe Photoshop Filter an, die aus einer Textur eine Normal-Map erzeugen.<sup>275</sup> Abbildung 42 zeigt das Render-Ergebnis beim Einsatz des Filters auf einer Textur.

Ein Nachteil des Filters ist allerdings, dass der Filter auf Basis von Kanten die Normal-Maps erzeugt. Besteht die Textur beispielsweise nur aus einer Farbe (vgl. Abbildung 43), erkennt die Normal-Map keine Kanten und kann daher auch keine 3D-Effekte erzeugen.

Wie in Abbildung 43 zu sehen, besteht die erzeugte Normal-Map nur aus einer Farbe. Es kann somit kein 3D-Effekt auf Basis der Normal-Map erzeugt werden. Sollen trotzdem 3D-Effekte erzeugt werden, müssen einfarbige Normal-Maps manuell angepasst werden, beispielsweise mit dem Pinselwerkzeug.

Die dynamische Anpassung der Kleidung führt bei manchen Parametrisierungen zu einer Kollision des Avatar-Körpers (vgl. Abbildung 44) und der Kleidung. Um auch bei diesen Parametrisierungen ein Kollidieren zu vermeiden, wird für jedes Kleidungsstück eine Transparenz-Maske angelegt, die den Körper unterhalb des Kleidungsstücks transparent erscheinen lässt. Diese Textur ist ein Binärbild und basiert auf der Textur des Basis-Avatars. Dabei werden die Pixel des Körpers, die unterhalb der Kleidung liegen, weiß gefüllt. Abbildung 45 stellt das Verfahren exemplarisch an einem T-Shirt dar.

Ist das Kleidungsstück fertig modelliert und texturiert, muss es für MakeHuman vorbereitet werden. Diese Aktivität kann nur mit Blender durchgeführt werden (vgl. Abbildung 46). Zunächst muss dafür das Skript *makecloth.py* in Blender aktiviert werden.

---

<sup>275</sup>NVIDIA GMBH: NVIDIA Texture Tools for Adobe Photoshop. [URL: http://developer.nvidia.com/nvidia-texture-tools-adobe-photoshop](http://developer.nvidia.com/nvidia-texture-tools-adobe-photoshop) – Zugriff am 28.06.2012.



(a) Ausschnitt Original-Textur



(b) NVIDIA Filter erzeugte Normal-Map



(c) Keine Normal-Map

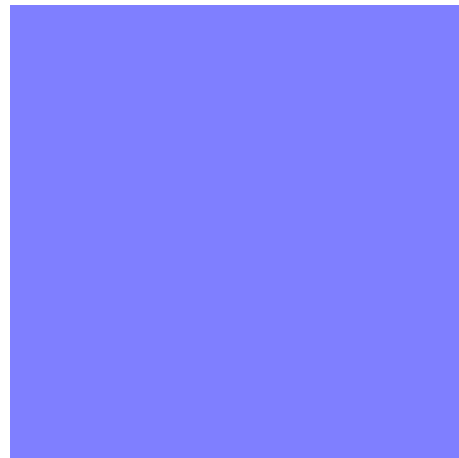


(d) Filterbasierte Erzeugung einer Normal-Map

**Abbildung 42:** Aus Basis-Textur (a) erzeugte Normal-Map (b) und Renderergebnis mit 3D Studio Max ohne Normal-Map (c) sowie mit der Erstellten Normal-Map (d)



(a) Einfarbige Textur



(b) NVIDIA Filter erzeugte Normal-Map

**Abbildung 43:** Aus Basis-Textur (a) erzeugte Normal-Map (b)



**Abbildung 44:** Kollision von Körper und Kleidung

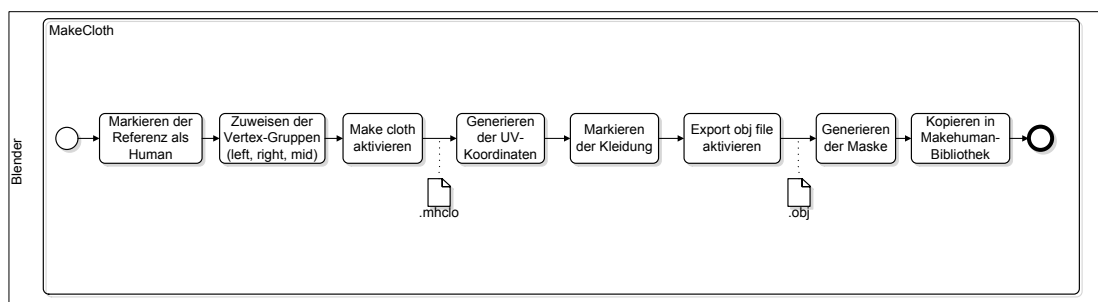


(a) Transparenzmaske



(b) Eingesetzte Transparenzmaske

**Abbildung 45:** Einsatz einer Transparenz-Maske für die Körpertextur (a) und Resultat in Blender (b)



**Abbildung 46:** Aktivitäten zur Erstellung des Kleidungsstücks mit Makecloth



Das MakeCloth Skript verlangt den als Referenz (vgl. Abbildung 38 (a)) exportierten Basis-Avatar. Dieser muss selektiert und über die Schaltfläche *Human* zugewiesen werden. Bei dem 3D-Modell des Kleidungsstücks muss eine Zuweisung von Vertex-Gruppen (right, mid, left) durchgeführt werden. Dieses kann automatisiert über die Schaltfläche *Auto vertex group* oder manuell durchgeführt werden. Anschließend werden Basis-Avatar und das Kleidungsstück selektiert und die Schaltfläche *Make clothes* aktiviert. Diese Operation generiert und speichert eine mhclo-Datei.

Nach erfolgreicher Speicherung der mhclo-Datei können die UV-Koordinaten festgelegt werden. Für die Transparenz des Körpers wird auf einem neuen UV-Layer des Kleidungsstücks die Maske für den Körper angelegt. Ist dies erfolgt, muss die Maske in einem Bildverarbeitungsprogramm wie Adobe Photoshop<sup>276</sup>, Gimp<sup>277</sup> oder ähnlichem erstellt werden (vgl. Abbildung 45). Das MakeCloth Skript geht von einer Namensgebung *kleidungsstück-texture.tif* und *kleidungsstück-mask.png* aus. Die Namen der Texturen können innerhalb der mhclo-Datei noch manuell geändert werden, sodass auch andere Dateinamen möglich sind.

Der Ordner des erstellten Kleidungsstücks muss zum Abschluss noch in das MakeHuman Kleidungsverzeichnis kopiert werden. Auf einer Windows-7-Standard-Installation von MakeHuman ist dieser Pfad:

*c:/users/username/documents/makehuman/data/clothes/*

Die erstellten Kleidungsstücke stehen nun in der MakeHuman-Bibliothek zur Verfügung und die Avatare können mit diesen Kleidungsstücken bekleidet werden (vgl. Abbildung 47).

### 7.3 Erstellung von Einsatzkräften

Die Einsatzkräfte repräsentieren die Lernenden innerhalb der Szene. Die Lernenden der Hilfsorganisationen haben spezielle Einsatzanzüge, die die Merkmale der jeweiligen Hilfsorganisationen widerspiegeln müssen. Abbildung 48 zeigt exemplarisch den Einsatzanzug sowie Ausrüstung der Berufsfeuerwehr. Wie ebenfalls in Abbildung 48

<sup>276</sup>ADOBE SYSTEMS INCORPORATED: Adobe Photoshop CS6. (URL: <http://www.adobe.com/de/products/photoshop.html>) – Zugriff am 20.02.2012.

<sup>277</sup>THE GIMP TEAM: GIMP - the GNU Image Manipulation Program. (URL: <http://www.gimp.org/>) – Zugriff am 20.02.2012.



Abbildung 47: Mit Kleidung angezogener Avatar in MakeHuman



Abbildung 48: Einsatzkleidung und Ausrüstungsgegenstände der Berufsfeuerwehr Kassel

zu sehen, bedeckt die Einsatzkleidung inklusive Helm den ganzen Körper. Nur ein Teil des Gesichts ist dabei zu sehen. Auch dieser kann beispielsweise beim Einsatz der Atemschutzgeräte verdeckt werden (vgl. Abbildung 49). Aufgrund des geringen Anteils



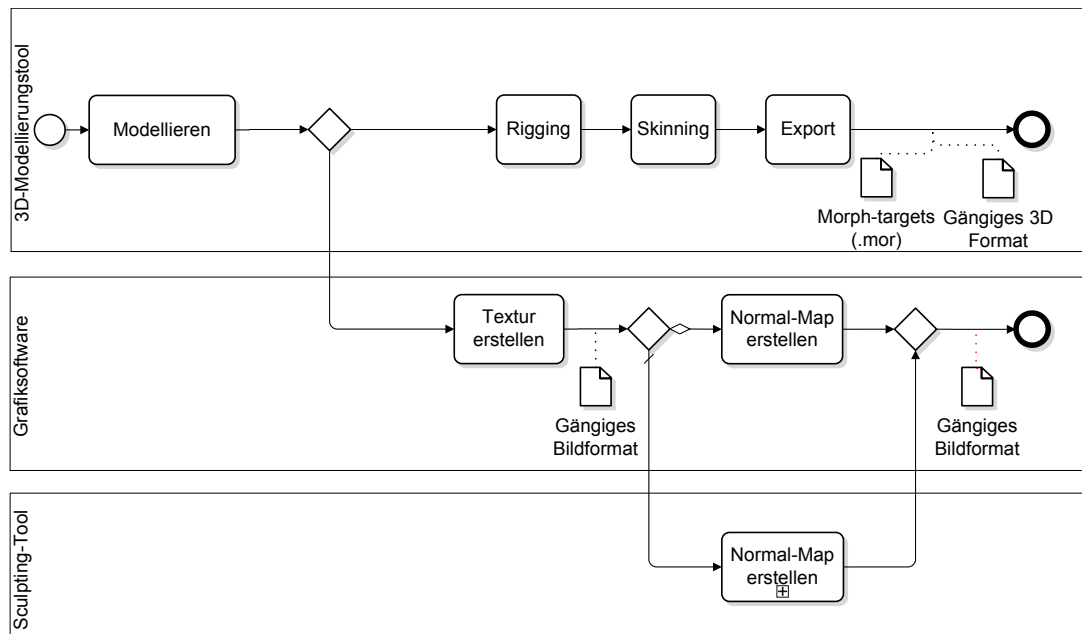
**Abbildung 49:** Atemschutzgeräteträger des Technischen Hilfswerks OV-Melsungen

der Sichtbarkeit des Körpers, kann hier ein anderer Prozess aufgegriffen werden. Eine Durchführung mit dem vorgestellten Ablauf zur Erstellung von Kleidungsstücken (vgl. Abschnitt 7.2) würde hier zu einem unnötigen Mehraufwand führen.

Die notwendigen Arbeitsschritte zur Erstellung der Einsatzkräfte sind in Abbildung 50 dargestellt.

Die Modellierung der Kleidung von Einsatzkräften kann in einem 3D-Modellierungstool erstellt werden. Wie in den Abbildungen 48 und 49 zu sehen ist, sind die Einsatzanzüge der verschiedenen Organisationen relativ ähnlich. Lediglich die Farbe und die Symbole unterscheiden sich. Es kann daher ein Basis-Modell erstellt werden, welches nur geringe Veränderungen für die einzelnen Organisationen benötigt.

Die Modellierung des Kopfes benötigt viel Kunstverständnis und Erfahrung. Ist diese nicht gegeben, kann bei der Modellierung des Gesichts auch auf MakeHu-



**Abbildung 50:** Aktivitäten zur Erstellung von Einsatzkräften

man oder auf Gesichtsgeneratoren, beispielsweise Facegen<sup>278</sup> oder Facial-Studio<sup>279</sup>, zurückgegriffen werden. Zur Vorbereitung auf eine Sprachausgabe mit der Animation des Gesichts sind diese Tools sehr komfortabel, da über Parameter die notwendigen Viseme des Gesichts generiert werden können. Abbildung 51 zeigt exemplarisch das Morph-target Visem A. Die erstellten Morph-targets müssen mit dem Mega-Fiers-Morph-target-Exporter (.mor) exportiert werden, um in Unity 3D eingesetzt werden zu können. Im Anschluss an die Modellierung kann mit dem sog. Rigging (Erstellung eines Skeletts zur Animation) begonnen werden. Das für einen Avatar erstellte Skelett ist wie bereits erwähnt eine vereinfachte Version eines menschlichen Skeletts. Das 3D-Modellierungstool 3D Studio Max bietet dazu ein Template der Knochenstruktur über das Biped<sup>280</sup> an, welches ein Skelett per Parameter erstellen kann (vgl. Abbildung 52). Über die Parameter können Eigenschaften wie beispielsweise Größe, Anzahl der Wirbelsäulen-, Hand und Fußknochen eingestellt werden. Je nach Avatar

<sup>278</sup>SINGULAR INVERSIONS INC.: FaceGen - 3D human Faces. [URL: http://facegen.com/](http://facegen.com/) – Zugriff am 20.10.2010.

<sup>279</sup>DI-O-MATIC, INC.: Facial Studio - Overview. [URL: http://www.di-o-matic.com/products/plugins/FacialStudio/](http://www.di-o-matic.com/products/plugins/FacialStudio/) – Zugriff am 20.10.2010.

<sup>280</sup>Biped: Fortbewegung auf zwei Beinen („Zweibeiner“)

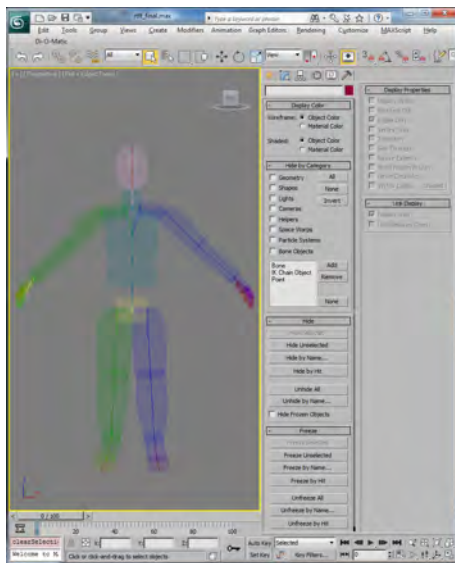


**Abbildung 51:** Erzeugtes Morph-target Visem A auf Basis des 3D Studio Max Plugin Facial Studio

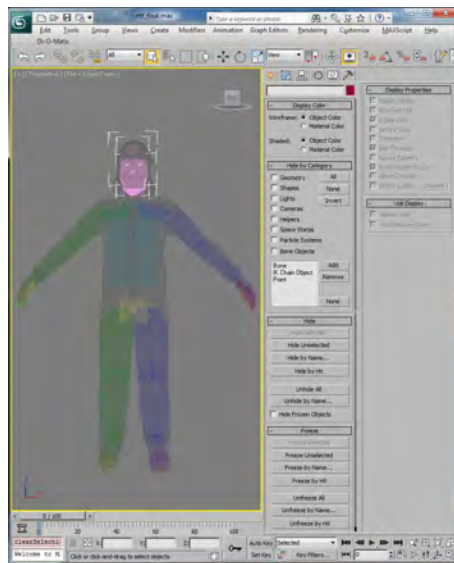
muss das Skelett individuell angepasst werden, indem die Proportionen der einzelnen Regionen transformiert werden. Abbildung 52 zeigt das erstellte und angepasste Biped an das 3D-Modell der Einsatzkraft.

Im Anschluss an das Rigging folgt das Skinning. Im Falle eines Einsatzes des Avatars in einer Game-Engine ist darauf zu achten, dass ein Vertex nicht von mehr als vier Knochen beeinflusst wird. Sollten mehr Knochen den Vertex beeinflussen, kann es in der Game-Engine zu Artefakten kommen. 3D-Modellierungstools erleichtern mit Hilfsfunktionen den Prozess des Skinings. Beispielsweise bietet 3D Studio Max sog. Envelopes an, die für Bipeds optimiert wurden und dadurch den Prozess des Skinings vereinfachen.

Sind die 3D-Modelle erstellt, müssen die Texturen für die Kleidungsstücke und evtl. den Kopf erstellt werden. Ist der Kopf mit Generatoren erstellt worden, entfällt dieser Schritt, da dort bereits Texturen integriert sind. Auch hier ist der Einsatz von zusätzlichen Normal-Maps zu empfehlen. Abbildung 53 zeigt die so erstellten Einsatzkräfte für Feuerwehr und Technisches Hilfswerk. Da die Einsatzkräfte alle auf dem gleichen Skelett aufbauen, muss bei den Basisanimationen wie Stehen, Gehen und Laufen jeweils nur eine Animation erzeugt werden. Diese können für alle Einsatzkräfte genutzt werden.



(a) Erstelltes Biped



(b) An 3D-Modell angepasstes Biped

**Abbildung 52:** 3D-Modell einer Einsatzkraft mit erstelltem und angepasstem Biped



(a) Feuerwehr

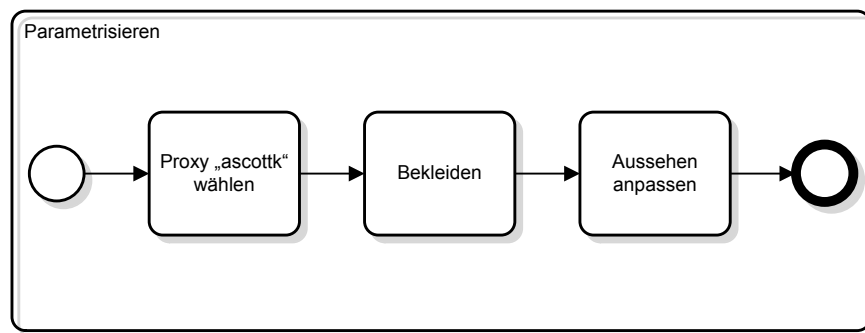


(b) THW

**Abbildung 53:** Erstellte 3D-Modelle der Einsatzkräfte für Feuerwehr (a) und Technisches Hilfswerk (b)

## 7.4 Erstellung von Schaulustigen

Bei der Erstellung der Schaulustigen kann der grundsätzliche Vorgang (vgl. Abschnitt 7.1) des Avatars angewendet werden. Lediglich die Parametrisierung der Avatare in MakeHuman muss hier abweichend vorgenommen werden. Abbildung 54 zeigt die veränderten Aktivitäten innerhalb der Aktivität Parametrisieren in MakeHuman.



**Abbildung 54:** Aktivitäten innerhalb MakeHuman zur Erstellung von Schaulustigen

Für Schaulustige wird, wie zuvor argumentiert, eine niedrige Detailstufe des Avatars benötigt. Diese wird in MakeHuman durch sog. Proxies erreicht. Proxies stellen eine andere Version des Basis-Avatars dar. Diese können eine höhere oder niedrigere Auflösung besitzen. Momentan sind die drei Proxies *ascotk*, *male* und *rorkimaru* verfügbar. Obwohl der „rorkimaru“ Proxy die niedrigste Auflösung hat, ist hier der Proxy *ascotk* zu wählen. Dieser hat eine Auflösung von ca. 1700 Polygonen und benutzt die gleiche Textur des Basis-Avatars *male*. Dies ist vor allem für die Erstellung der Kleidung ein wesentlicher Vorteil, da so die Kleidung für beide Avatar-Arten genutzt werden kann. Die Einstellung des Proxies muss als erste Aktion geschehen, da die geringere Auflösung die Parametrisierung des Erscheinungsbildes beeinflussen kann.

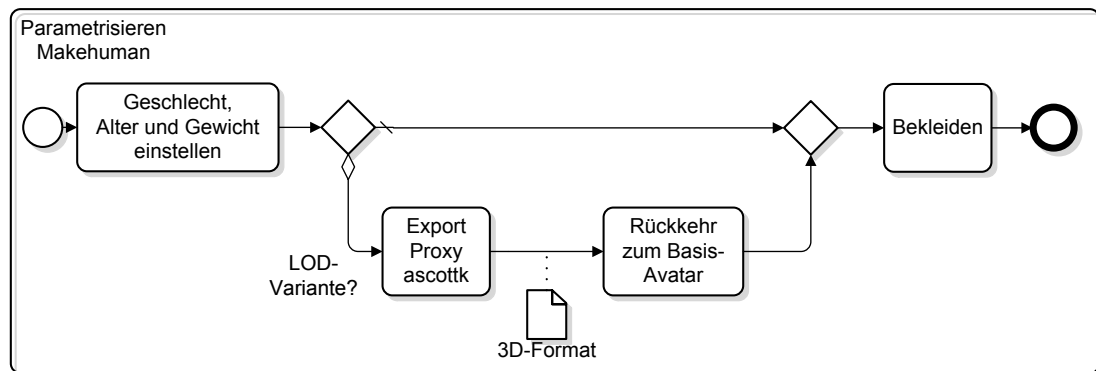
Der nächste Schritt verknüpft den Avatar mit der in Abschnitt 7.2 erstellten Kleidung. Dazu wird im Menü *Library* → *Clothing* die entsprechende Kleidung gewählt.

Im Anschluss wird das äußerliche Erscheinungsbild des Schaulustigen parametrisiert. Dabei ist besonders auf Geschlecht, Alter und Größe zu achten, da diese Parameter den Avatar signifikant verändern. Zusätzlich kann im Bereich „Face“ das Gesicht









**Abbildung 56:** Aktivitäten innerhalb MakeHuman zur Erstellung von verletzten Avataren

des Avatars in MakeHuman beachtet. Die notwendigen Einstellungen sind in Abbildung 57 aufgeführt. Zu beachten ist hierbei, dass MakeHuman nur ein Alter



**Abbildung 57:** Parameter in MakeHuman zum Einstellen von Geschlecht, Alter und Gewicht

von 12–70 Jahren unterstützt. Sollten die zu erstellenden Avatare nicht in diese Altersklasse fallen, müssen die in Abschnitt 5.7 vorgestellten Alternativen wie Eigenentwicklungen oder Avatar-Datenbanken eingesetzt werden. Soll von dem zu erstellenden Avatar auch eine niedrigere Detailstufe (Level of Detail) notwendig sein (vgl. hierzu Abschnitt 7.7), kann im Anschluss an die Parametrisierung des Aussehens der *ascottk*-Proxy ausgewählt und ebenfalls exportiert werden. Nach diesem

Exportieren muss wieder der vorher ausgewählte Basis-Avatar eingestellt werden.

Sind die Avatare bei Bewusstsein, können die Verletzungen Schmerzen auslösen. Zur Unterstützung der jeweiligen Verletzungsbilder werden die Schmerzen auch durch Mimik dargestellt. MakeHuman bietet dafür bereits das Morph-target *Pain* an, welches auch in der Game-Engine zur Verfügung steht.

Ähnlich wie bei den Einsatzkräften werden die verletzten Avatare auch auf eine Sprachausgabe vorbereitet. Hierzu werden ähnlich wie bei den Fehlstellungen Morph-targets für die Viseme nach TÜMMLER, JÖRN erstellt. Die Viseme können durch eine Verknüpfung der bereits von MakeHuman bereitgestellten Morph-targets generiert werden. Abbildung 58 zeigt exemplarisch das Visem A und das Morph-target Schmerz. Zur Nutzung der Morph-targets in Unity 3D muss das Polygon-Netz des Avatars in



**Abbildung 58:** Darstellung des Morph-targets Schmerz und Visems A eines MakeHuman-Avatars

das MOR-Format exportiert werden.

## 7.6 Animationen

Für die Animation der Avatare können verschiedene Verfahren eingesetzt werden. Ein einfaches und optisch hochwertiges Verfahren ist der Einsatz von Motion-Capture-Verfahren. Eine portable und schnell einsatzbereite Lösung bietet das System Microsoft Xbox 360 Kinect.<sup>281</sup> Das Aufnehmen von Animationen kann auch mithilfe von MotionBuilder durchgeführt werden.<sup>282</sup> Des Weiteren können auch vordefinierte

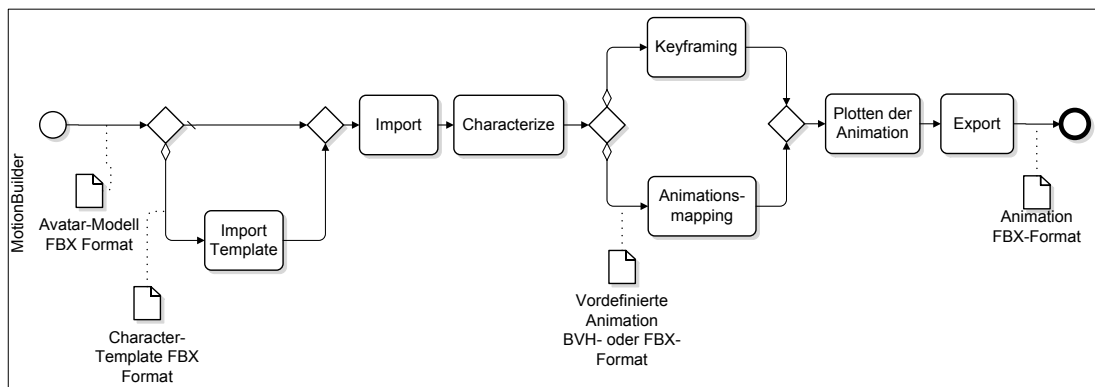
<sup>281</sup>MICROSOFT CORPORATION: Kinect für Xbox 360. (URL: <http://www.xbox.com/de-DE/Kinect>) – Zugriff am 21.06.2011.

<sup>282</sup>Vgl. SIEMON, ANDREAS: Animation von Avataren mit Microsoft Kinect. In: Tagungsband G-DAY, 4 2011.

Bewegungen oder das Keyframing eingesetzt werden. Für Morph-target-Animationen müssen die entsprechenden Morph-Targets aus Blender bzw. 3DS Max exportiert werden. Dafür wird der Mega-Fiers-Exporter eingesetzt, um die Morph-targets in Unity 3D einsetzen zu können.

Erzeugte bzw. aufgenommene Bone-based-Animationen können durch den Einsatz der Software Autodesk MotionBuilder<sup>283</sup> auf jeden Avatar realistisch angepasst werden.

Zur Verknüpfung der Bewegungen mit dem Avatar in MotionBuilder sind verschiedene Arbeitsschritte notwendig (vgl. Abbildung 59). MotionBuilder verlangt zur



**Abbildung 59:** Aktivitäten innerhalb MotionBuilder zur Animation von Avataren

Animation von Avataren das Dateiformat Autodesk FBX oder BVH. Die Avatare liegen bereits im Autodesk FBX-Format vor und können für den Arbeitsschritt *Characterize* geladen werden. Der Arbeitsschritt *Characterize* verknüpft die internen MotionBuilder-Skelett-Strukturen mit dem Skelett des Avatars. Dabei wird eine Namenszuweisung der internen Knochen zu den Knochen des Avatars durchgeführt. Tabelle 19 zeigt die Basis-Zuweisung der Knochenstrukturen des Game-Rigs und des MakeHuman-Rigs. Eine Vereinfachung des Arbeitsschritts *Characterize* ist das Nutzen eines Character-Templates. Durch ein Verknüpfen des Templates mit der Szene entfällt eine manuelle Zuweisung der Knochen und der neu hinzugefügte Character kann durch Ziehen auf den Wurzelknochen des Avatars characterized werden.

Für die Darstellung von Standardbewegungen wie Gehen, Laufen oder Stehen bieten sich vordefinierte Animationen an. Diese sind in vielen Softwarepaketen bereits

<sup>283</sup> AUTODESK INC.: Autodesk MotionBuilder.

**Tabelle 19:** Namenszuweisung des MotionBuilder-Skeletts und verschiedener MakeHuman-Skelette

Basis-MotionBuilder-Rig	Game-Rig	MakeHuman-Rig
Hips	Hips	DfmHips
LeftUpLeg	UpLeg_L	UpLeg_L
LeftLeg	LoLeg_L	LoLeg_L
LeftFoot	Foot_L	Foot_L
RightUpLeg	UpLeg_R	UpLeg_R
RightLeg	LoLeg_R	LoLeg_R
RightFoot	Foot_R	Foot_R
Spine	Spine1	DfmSpine1
LeftArm	UpArm_L	UpArm_L
LeftForeArm	LoArm_L	LoArm_L
LeftHand	Hand_L	Hand_L
RightArm	UpArm_R	UpArm_R
RightForeArm	LoArm_R	LoArm_R
RightHand	Hand_R	Hand_R
Head	Head	DfmHead

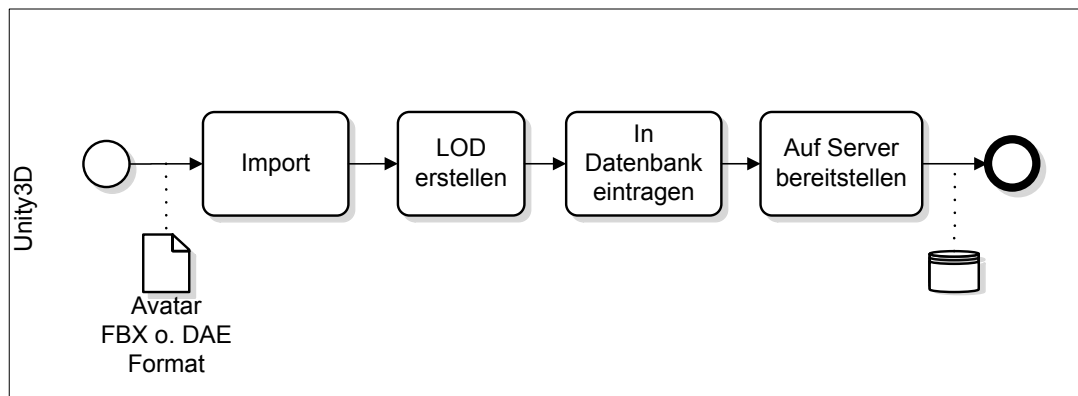
integriert und lassen sich mit den Avataren verknüpfen (Animation-Mapping). Um die Animationen mit dem Avatar zu verknüpfen, ist ein gängiges Animationsformat wie FBX oder BVH notwendig.

Sind Animationen nicht verfügbar, können die bereits erwähnten Motioncapture- oder Keyframing-Verfahren eingesetzt werden. Die Erzeugung von Animationen mit einem Motioncapture-Verfahren ist an dieser Stelle nicht relevant. Wichtig ist nur, dass das Verfahren eine Animation im FBX- bzw. BVH-Format bereitstellt. Ist die Animation verfügbar, kann der Arbeitsschritt Animation-Mapping ausgeführt werden. Soll ein Keyframing-Verfahren eingesetzt werden, können die in MotionBuilder zur Verfügung stehenden Werkzeuge eingesetzt werden.

Ist die Animation fertig, muss diese noch auf den Avatar *geplottet* werden. Das Plotten (auch baking genannt) transferiert die Animation auf die 3D-Modelle und ist für den Import in andere 3D-Software-Produkte notwendig. Zum Abschluss kann die Animation als FBX exportiert werden und steht damit der Game-Engine zur Verfügung.

## 7.7 Verwaltung und Verwendung der verletzten Avatare in Unity 3D

Die mit dem vorgestellten Verfahren erstellten verletzten Avatare können nun in der Game-Engine eingesetzt werden. Für eine performante Simulation sollten allerdings weitere Arbeitsschritte in der Game-Engine vorgenommen werden (vgl. Abbildung 60).



**Abbildung 60:** Aktivitäten innerhalb Unity 3D zur Aufbereitung der verletzten Avatare

In Abschnitt 7.2 wurde eine Lösung für das Problem der Kollision von Körper und Kleidung aufgezeigt. Um diese Lösung auch in Unity 3D einzusetzen, musste ein Shader entwickelt werden, der die entwickelten Transparenz-Masken mit dem Avatar verbindet. Abbildung 61 demonstriert den entwickelten Shader in Unity 3D. Für weitere Optimierungen können Level of Detail Knoten eingesetzt werden. Sind Objekte weiter von der Kamera entfernt, müssen die Avatare nicht den vollen Detailgrad darstellen. An dieser Stelle kann der bereits exportierte *ascotk*-Proxy eingesetzt werden. Da der Proxy auf die gleichen UV-Koordinaten und Texturen zugreift, kann dieser für einen niedrigeren Detailgrad eingesetzt werden. Dies ist vor allem bei Szenen mit vielen Verletzten sinnvoll, um den Renderprozess der Grafikkarte zu optimieren. Unity 3D bietet für die Optimierung bereits Verfahren für LOD an. Je nach Anzahl der LOD-Stufen müssen hier die entsprechenden Varianten eingestellt werden.

Die Verwaltung der erstellten Avatare wird durch eine Kombination von Datenbank und Unity 3D erreicht. Ist der Avatar fertig konfiguriert, kann er auf einen Server



**Abbildung 61:** Einsatz des entwickelten Shaders (rechter Avatar) zur Vermeidung der Kollision von Kleidung und Körper (linker Avatar) in Unity 3D

geladen werden und so für verschiedene Projekte zur Verfügung stehen. Eine Weboberfläche für die Datenbank erleichtert die Verwaltung der Avatare. In die Datenbank werden allgemeine Informationen soweit möglich automatisiert geschrieben und via Skript und Webzugriff eingetragen.

Um sicherzustellen, dass mit diesen Arbeitsprozessen auch die geforderte Anzahl von Avataren in einer Simulation eingesetzt werden können, wird dies durch eine Messung der Performanz belegt. Dafür wurde eine nach den in Kapitel 10 vorgestellten Arbeitsschritten 1 km<sup>2</sup> große Szene erzeugt, die aus einem Terrain, Straßen und Häusern besteht (vgl. hierzu auch Abbildung 94).

Die eingesetzte Hardware ist ein PC-System mit Intel I7-2600@3.4 GHz Prozessor, 8 GB Arbeitsspeicher und einer NVIDIA GTX 560 Grafikkarte. Als Betriebssystem ist Windows 7 64 eingesetzt worden. Zur Messung der Performanz wurden die Frames per Second herangezogen. Zwei verschiedene Methoden wurden dabei verwendet. Eine Berechnung basierte auf dem Skript *Other CSharp HUDFPS.cs* des Unity 3D-Wiki's.<sup>284</sup> Die zweite Variante basiert auf den Statistiken des Unity 3D-Editors.

<sup>284</sup>PRANCKEVICIUS, ARAS: FramesPerSecond. (URL: <http://wiki.unity3d.com/index.php?title=FramesPerSecond>) – Zugriff am 15.03.2011.

Für den Test wurden 10 verschiedene Avatare mit Verletzungen erstellt und in der Szene zufällig  $n$ -mal platziert. Eine weitere Messung wurde mit den von TÜMMLER, JÖRN entwickelten Avataren durchgeführt. Hier wurden lediglich 5 Avatare  $n$ -mal platziert.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 20 festgehalten. Für eine „ruckelfreie“ Szene wird i. d. R. ein Wert von 30 FPS vorausgesetzt. Wie in Tabelle 20 zu sehen, ist es mit

**Tabelle 20:** FPS bei der Darstellung von N-Avataren

N-Avatare	Workflow Siemon		Workflow Tümmeler	
	HUDFPS	UnityFPS	HUDFPS	UnityFPS
50	60	75,6	9,1	33,3
100	60	92,4	4,9	6,5
150	56,6	83,9	3,6	4,6
200	42	65,2	3	3,5
250	36,8	51,3	-	-
300	31	42,9	-	-
350	26,6	37,4	-	-
400	23,6	32,2	-	-
450	20,7	28,4	-	-
500	18,5	25,2	-	-

dem hier vorgestellten Konzept möglich ca. 300 Verletzte in einer 1 km<sup>2</sup> Szene zu verwenden. Im Vergleich zu den bisher verwendeten Arbeitsprozessen konnte ein deutlicher Performance-Gewinn erzielt werden. Von einer Messung der Frames per Second für über 200 Verletzte nach Workflow Tümmeler wurde aus Gründen der zu erwarteten Ergebnisse abgesehen. Mit neueren Generationen von Grafikkarten, ist davon auszugehen, dass auch > 500 Avatare mit den vorgestellten Arbeitsprozessen dargestellt werden können.

## 8 Darstellung von Vitalparametern und Verletzungen

Viele der in Kapitel 6 vorgestellten Vitalfunktionen und Vitalparameter können zur Unterstützung der Triage auch optisch und akustisch dargestellt werden.

Damit eine Simulation in Echtzeit durchgeführt werden kann, muss auch die Abfrage der Vitalparameter virtuell in Echtzeit durchgeführt werden. Daher müssen Verfahren zur Abfrage der Vitalparameter entwickelt werden.

In diesem Kapitel werden Möglichkeiten zur Darstellung der Vitalparameter aufgezeigt. Anschließend werden Verfahren dargestellt, die Symptome bei Verletzungen der Avatare zeigen. Im letzten Abschnitt wird auf die in der Triage notwendigen Erste-Hilfe-Maßnahmen eingegangen.

### 8.1 Visuelle und akustische Darstellung von Vitalparametern

Im Folgenden werden die Vitalparameter Atemfrequenz, Puls, Blutdruck und Temperatur untersucht und Entwicklungen vorgestellt, wie diese auf Avataren optisch und akustisch unterstützend angezeigt werden können. Allgemein werden die optischen und akustischen Darstellungen aus Gründen der Performance allerdings nur in unmittelbarer Sichtbarkeit des Verletzten aktiviert.

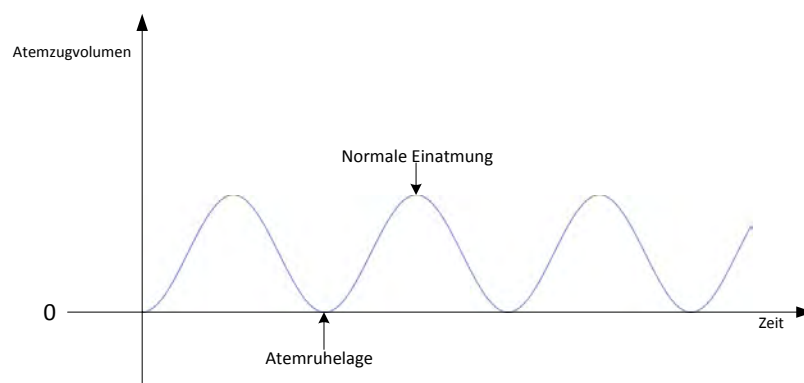
#### 8.1.1 Atemfrequenz

Die Frequenz der Atmung wird mithilfe der Gleichung 6.1 realisiert und mit einem Atemgeräusch verknüpft. Das Atemgeräusch wird durch eine Audio-Datei als 3D-Sound repräsentiert. Die Position des 3D-Geräusches befindet sich im Bereich der



Nase. Dadurch kann die Einsatzkraft das Atemgeräusch nur an dieser Stelle hören und muss sich über die Nase beugen. Das Atemgeräusch hat eine definierte Länge von 2 Sekunden. Durch die Geschwindigkeit des Abspielens der Audio-Datei kann die Atmung schneller und langsamer wiedergegeben werden.

Das Ein- und Ausatmen kann durch eine Sinuskurve angenähert werden (vgl. Abbildung 62). Dabei befindet sich an den Wendepunkten jeweils der Übergang zwischen Ein- und Aus- bzw. Aus- und Einatmung. Die Einatmung (Inspiration)



**Abbildung 62:** Vereinfachte Darstellung der Atemkurve in Anlehnung an FÜESSL<sup>285</sup>

wird durch das Zusammenziehen des Zwerchfells erreicht. Der Brustraumumfang vergrößert sich und durch Unterdruck strömt Luft in die Lungen. Dieser Vorgang wird wie die akustische Darstellung durch die Frequenz gesteuert.

Zur visuellen Darstellung der Änderung des Brustumfangs eignen sich Animationen. Hier sind grundsätzlich beide Animationsvarianten möglich (vgl. Abschnitt 2.1.3). Da die Animation nur in der Nähe zu sehen ist, eignet sich eine Morph-target-Animation besser, da der Aufwand für die Erstellung wesentlich geringer ist.

Bei einer zu niedrigen Atemfrequenz werden Hautregionen wie das Nagelbett und die Lippen blau gefärbt. Da diese Symptome von der Haut abhängig sind, werden sie durch prozedurale Texturen realisiert.

Zur Überprüfung der Atmung muss sich die Rettungskraft mit dem Ohr an die Nase bzw. Mund des Patienten begeben. Unter der Voraussetzung, dass die Rettungskraft

---

<sup>285</sup>FÜESSL, HERMANN SEBASTIAN: Innere Medizin in Frage und Antwort. 8. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2004, Basiswissen Pflege, S. 136.

dem Verletzten die Oberbekleidung ausgezogen hat, kann sie auch die Anhebung des Brustkorbes sehen.

Die Atmung kann in der realen Welt auch durch Spüren des Luftzugs während der Atmung an Nase oder Mund gefühlt werden. Diese Eigenschaft kann hier allerdings nicht dargestellt werden.

### 8.1.2 Blutdruck

Der Blutdruck ist nur mit zusätzlichen Instrumenten zu visualisieren. Aufgrund der Tatsache, dass während der Triage der Blutdruck in den Sichtungsalgorithmen nicht abgefragt wird, müssen hier keine zusätzlichen Implementierungen durchgeführt werden.

Die intern berechneten Werte werden aber über eine Softwareschnittstelle abrufbereit gestellt und die Werte der Systole und Diastole können durch Interaktion mit entsprechenden Ausrüstungsgegenständen abgefragt werden.

Bei niedrigem Blutdruck (Hypotonie) werden die Symptome Blässe, Schwindel und Kopfschmerzen dargestellt. Der Grenzwert ist ca. 90/60 mmHg. Auf die weiteren Symptome wie kalte Hände, rasche Ermüdbarkeit und Konzentrationsschwäche soll hier nicht eingegangen werden, da diese Symptome teilweise nicht (kalte Hände) oder nur durch Schauspielerei dargestellt werden können. Bluthochdruck (Hypertonie) hat nur selten körperliche Symptome, sodass hier keine Darstellung notwendig ist. Nach der Weltgesundheitsorganisation (WHO) gilt eine Hypertonie ab einem systolischen Blutdruck von 140 mmHg oder einem diastolischen Blutdruck von mindestens 90 mmHg.<sup>286</sup>

Zur Darstellung der Blässe wird die Helligkeit der Hauttextur erhöht. Die Symptome Schwindel und Kopfschmerzen werden durch eine Sprachausgabe dargestellt. Dabei wird das von TÜMMLER, JÖRN genutzte Text-To-Speech-System Mary-TTS<sup>287</sup> eingesetzt.

---

<sup>286</sup>BARMEYER, JÜRGEN: Das kardiologische Gutachten: Anleitungen zur differenzierten Begutachtung bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen. 2. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2010.

<sup>287</sup>DEUTSCHES FORSCHUNGSZENTRUM FÜR KÜNSTLICHE INTELLIGENZ GMBH: The MARY Text-to-Speech System. [URL: http://mary.dfki.de/](http://mary.dfki.de/) – Zugriff am 07.01.2011.

### 8.1.3 Puls

Der Puls ist visuell nur schwer erkennbar, weshalb seine optische Darstellung vernachlässigt wird. Die Abfrage des Pulses kann an verschiedenen Stellen des Körpers durchgeführt werden. Bei dem Sichtungsalgorithmus *START* wird der Radialis-Puls am Handgelenk abgefragt. Dazu muss sich bei immobilen Patienten zum Handgelenk gebeugt werden. Das Beugen zum Handgelenk wird durch eine Bone-based-Animation durchgeführt. Dabei fasst die Einsatzkraft das Handgelenk und bekommt die aktuelle Uhrzeit eingeblendet. Die Frequenz des Pulses wird durch die Steuerung und Force-Feedback, dem Vibrieren des Steuerungsgerätes, dargestellt. Durch Force-Feedback können mehrere Stufen bzw. Stärken des Vibrierens durchgeführt werden, sodass auch die Qualität des Pulses gefühlt werden kann.

Beim Vorgang der Sichtung werden keine weiteren Symptome des Pulses abgefragt, weshalb von der Implementierung weiterer Symptome abgesehen wird.

### 8.1.4 Temperatur

Die korrekte Abfrage der Temperatur kann nur mit einem Thermometer durchgeführt werden. Daher wird ähnlich wie beim Blutdruck nur der Temperaturwert durch eine Schnittstelle zur Abfrage bereitgestellt. Da die Temperatur in diesem Modell nur durch den Tod beeinflusst wird, beschränkt sich die Darstellung auf das Symptom Blässe. Die Realisierung dieses Symptoms wird analog zu der des Blutdrucks durchgeführt.

### 8.1.5 Bewusstsein

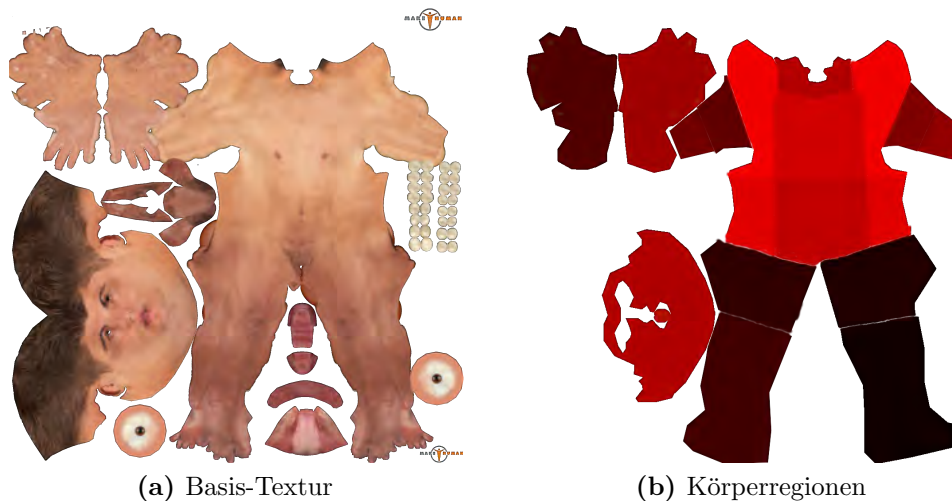
Das Bewusstsein ist, wie in Abschnitt 2.2.1 bereits erwähnt, die geistige Klarheit. Geistige Klarheit bzw. ein ungestörtes Bewusstsein kann allerdings nur schwer visuell und akustisch abgebildet werden, da sich per Definition die Wahrnehmung und Auseinandersetzung mit der Umwelt primär im Kopf abspielt. Es werden daher keine besonderen Symptome visuell oder akustisch bei einem klaren Bewusstsein dargestellt.

## 8.2 Darstellung von Verletzungen

Treten Verletzungen auf, können diese bei einem Menschen unterschiedliche Symptome auslösen. Im Folgenden werden von den bereits vorgestellten Verletzungsbildern Techniken zur Darstellung auf einem Avatar aufgezeigt.

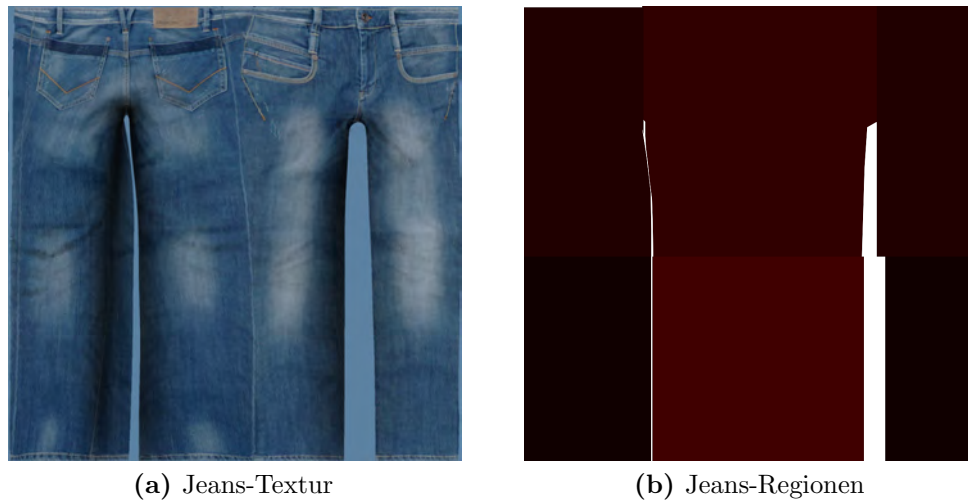
### 8.2.1 Einteilung des Avatars in Körperregionen

Äußerlich sichtbare Verletzungen betreffen jeweils bestimmte Stellen des Körpers. Um diesem Umstand gerecht zu werden, wurde eine Aufteilung des Körpers in verschiedene Regionen vorgenommen. Die so entstandenen Regionen sind in Abbildung 63 dargestellt. Auf Basis der Körpertextur in MakeHuman wurde ein Template zur



**Abbildung 63:** Aufteilung der Regionen des Körpers (b) auf Basis der MakeHuman-Textur (a)

Identifizierung der Körperregionen entwickelt. Der Rot-Kanal des Templates stellt die Region über den Farbwert dar. Die Farbwerte sind in Anhang A aufgelistet. Ähnlich der Körpertextur wurde auch für die Kleidungsstücke ein Regions-Template mit den entsprechenden Farbwerten erstellt. Exemplarisch ist dies für eine Jeans-Hose in Abbildung 64 aufgeführt. Die Regionen des Körpers werden für die verschiedenen Verletzungsmuster Wunden, thermische Verletzungen und Frakturen genutzt. Dabei wird die Basis-Textur mit der Textur der entsprechenden Verletzung überlagert. Dieser Vorgang wird auch prozedurales Texturieren genannt. Der Einsatz von pro-



**Abbildung 64:** Beispielhafte Aufteilung der Regionen einer Jeans

zeduralen Texturen ermöglicht eine hohe Flexibilität, da so die Texturen einfach ausgetauscht und mit fast jeder Hauttextur verwendet werden können.

Zusätzlich kann der Benutzer bei der Konfiguration des verletzten Avatars den entsprechenden Regionen Verletzungen zuordnen.

### 8.2.2 Wunden

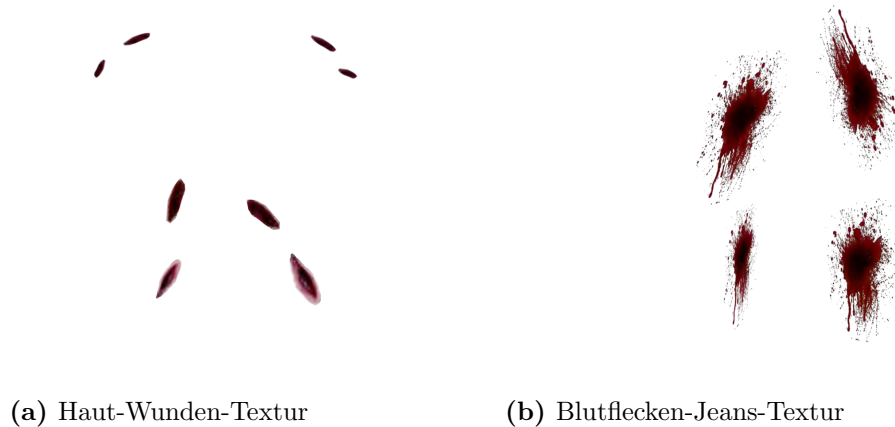
Da die Haut durch eine Textur repräsentiert wird, werden zur Darstellung von Wunden die bereits erwähnten prozeduralen Texturen eingesetzt. Diese kombinieren die Haut-Textur des Avatars mit einer überlagerten Wunden-Textur für die verschiedenen Regionen.

Wunden beschränken sich primär auf die Extremitäten, da hier Erste-Hilfe von den Einsatzkräften in Form eines Druckverbands geleistet werden kann. Wunden am Oberkörper würden oft auch eine Weichteilverletzung mit sich ziehen, die aber von den Einsatzkräften nicht behandelt werden könnte. Die Wundenart, beispielsweise Stich- oder Schnittwunde, wird durch das Aussehen der Textur bestimmt.

Für jede Wunde kann der Benutzer den Blutverlust bestimmen. Somit sind verschiedene Wundengrößen möglich.

Ein Beispiel-Template auf Basis der MakeHuman-Textur ist in Abbildung 65 aufgezeigt.

Da sich die Blutungen auch auf die Kleidung übertragen, wird auch hier eine



**Abbildung 65:** Darstellung von Wunden mit einer Textur auf dem Körper (a) und der Jeanshose (b)

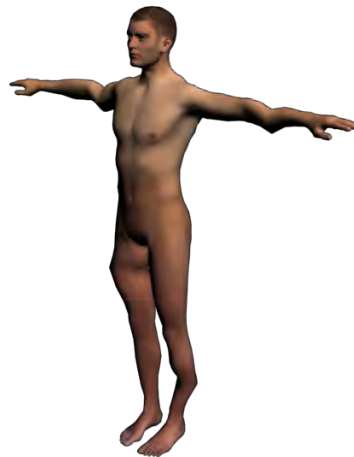
überlagerte Textur für das Kleidungsstück erstellt. Die Texturen für die Wunden auf dem Körper und die Blutflecken auf der Kleidung müssen in etwa deckungsgleich sein, um einen höheren Grad an Realismus zu erreichen. Eine Beispieltextrur für das Kleidungsstück Jeans ist in Abbildung 65 dargestellt.

### 8.2.3 Frakturen

Ein eindeutiges Merkmal für eine Fraktur ist eine Fehlstellung. Fehlstellungen betreffen das Skelett und können daher mit den zwei vorgestellten Animationstechniken dargestellt werden.

Eine Möglichkeit ist es, für jede Fehlstellung der Extremitäten einen zusätzlichen Knochen in das Avatar-Skelett bzw. -Rig einzubauen und diesen über eine Bone-based-Animation zu animieren. Der Vorteil dieser Methode liegt in der Berechnung der Animation, da diese auf dem Grafikprozessor (GPU) berechnet werden kann. Der Nachteil ist die Komplexität des Skeletts, da für die Extremitäten mindestens acht zusätzliche Knochen erstellt werden müssen. Diese Knochen müssen ebenfalls geskinnt werden, was wiederum ein komplexer Arbeitsprozess ist. Der Einsatz von Morph-target-Animationen mit Morph-targets ermöglicht ein schnelles Erstellen der Fehlstellungen. Dafür müssen an den entsprechenden Regionen lediglich die Vertices transformiert werden. Diese Transformationen können innerhalb MakeHuman und

damit auch in der Game-Engine Unity 3D zur Verfügung gestellt werden. Nachteilig an dieser Methode ist der Eingriff in das Polygon-Netz, welches bei aktivierten Morph-targets, Animationen eigenartig aussehen lassen kann. Dieser Nachteil kann durch das Darstellen von Frakturen, wie in Abbildung 66 zu sehen ist, vermieden werden. Die Fehlstellung kann in einem 3D-Modellierungstool modelliert werden. Mit der MakeHuman-Erweiterung Make-Target kann der Basis-Avatar um die jeweiligen Morph-targets erweitert werden. Es ist bei der Erstellung darauf zu achten, dass die Anzahl der Vertices, Kanten und Polygone nicht verändert werden darf. Ein Morph-target darf nur eine Transformation (Translation, Rotation und/oder Skalierung) der einzelnen Vertices bzw. Polygone sein. Die Erweiterung Make-Target benötigt bei der Integration der Morph-targets für jedes Morph-target eine OBJ-Datei. Diese muss aus dem 3D-Modellierungstool exportiert werden. Jeweils eine Fehlstellung pro Extremität ist in Abbildung 66 dargestellt.



**Abbildung 66:** Erzeugte Fehlstellungen und Darstellung in 3D Studio Max

Nicht immer tritt bei einer Fraktur eine Fehlstellung auf, wie beispielsweise bei einem glatten Bruch. Sollen keine Fehlstellungen angezeigt werden, können als weitere (unsichere) Anzeichen einer Fraktur Hämatome herangezogen werden. Hämatome werden über prozedurale Texturen dargestellt und im Bereich der Fraktur angezeigt. Hierfür wird ebenfalls eine von der Basis-Textur abgeleitete Hämatom-Template-Textur erstellt (vgl. Abbildung 67).

Eine offene Fraktur wird hier nicht berücksichtigt, da dies eine komplexe Verletzung



**Abbildung 67:** Erzeugte Hämatom-Template-Textur

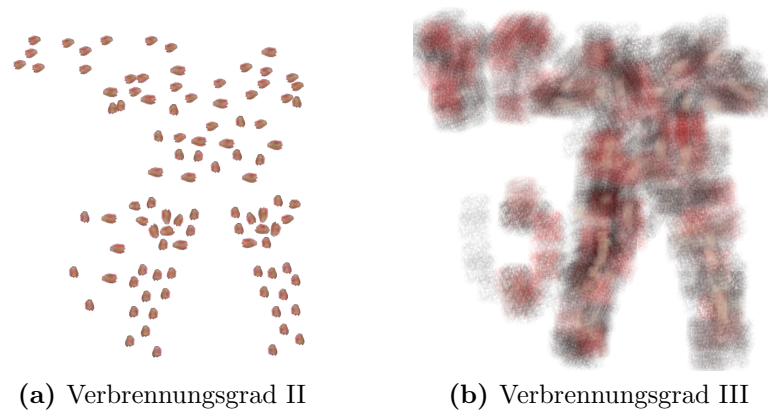
ist, welche durch den Ersthelfer gar nicht bzw. nur schwierig während der Triage behandelt werden kann.

#### 8.2.4 Thermische Verletzungen

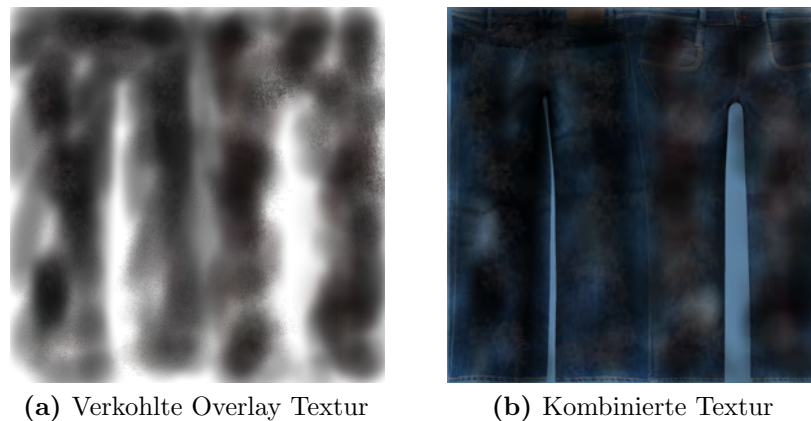
Thermische Verletzungen betreffen die Haut und müssen daher über Texturen realisiert werden. Bei thermischen Verletzungen werden für die Darstellung der drei Verbrennungsgrade unterschiedliche Verfahren angewendet. Verbrennungsgrad I wird durch eine Rötung realisiert. Dafür wird die Basistextur des Körpers um einen Offset im Rotkanal ergänzt. Dieser Offset ist variabel vom Benutzer einstellbar und kann dadurch unterschiedliche Ausprägungen des Verbrennungsgrades I darstellen. Der Verbrennungsgrad II erweitert den Verbrennungsgrad I um Nekrosen. Dafür wird auf Basis der Körperregionen eine Textur für diesen Verbrennungsgrad II erstellt. Diese Textur dient als Überlagerung der Basis-Körpertextur mit eingestelltem Verbrennungsgrad I. Abbildung 68 a stellt die so angefertigte neue Körpertextur dar. Für den dritten Verbrennungsgrad wird das gleiche Prinzip wie bei dem zweiten Verbrennungsgrad angewandt. Lediglich die Texturen unterscheiden sich. Abbildung 68 b verdeutlicht die Überlagerung der Texturen bei einer Verbrennung dritten Grades.

Da Verbrennungen auch die Kleidung betreffen können, wird auch für diese eine Brandtextur erstellt. Diese beschränkt sich allerdings auf eine Überlagerung einer Verkohlung (vgl. Abbildung 69).





**Abbildung 68:** Darstellung der Verbrennungsgrade II und III



**Abbildung 69:** Generierte Textur aus Kleidungstextur und Verkohlung

### 8.2.5 Störung der Atemwege

Eine Blockierung der Atemwege durch einen Gegenstand wird durch ein 3D-Objekt dargestellt. Dieses kann individuell mit gängigen 3D-Modellierungstools erstellt werden. Das Objekt wird anschließend im Mundraum platziert.

Neben der Beeinflussung der Vitalparameter treten auch Symptome durch eine Kohlenmonoxidvergiftung und dem damit erhöhten COHb-Spiegel auf.

Bei einer Kohlenmonoxidvergiftung zeigen sich bis ca. einem COHb-Wert von 5–7 % des Gesamthämoglobins zunächst keine Symptome. Ab einem Spiegel von ca. 15–25 % klagen Patienten über Kopfschmerzen, Übelkeit, Brechreiz und teilweise

Halluzinationen.<sup>288</sup>

Auch hier werden die Symptome per Text-to-Speech-System nach einer Frage der Rettungskraft als Antwort ausgegeben.

### 8.2.6 Bewusstseinsstörungen

Ähnlich wie ein klares Bewusstsein sind Bewusstseinsstörungen schwer zu fassen. Zur Beurteilung des Bewusstseins wird bei Rettungskräften die Glasgow Coma Scale herangezogen (vgl. Tabelle 16). Diese beurteilt Augenöffnung, motorische Reaktion und verbale Kommunikation.

Zur Darstellung der Augenöffnung ist eine Gesichtsanimation notwendig. Diese kann mit den beiden Animationstechniken (vgl. Abschnitt 2.1.3) realisiert werden. Hierbei wird auf eine Bone-based-Animation zurückgegriffen, da der Basis-Avatar bereits automatisiert *Bones* für die Animation der Augenlider bereitstellt. Zusätzlich zur Augenöffnung kann auch eine Pupillenreaktion durch die Rettungskraft getestet werden. Diese ist zwar nicht Teil der GCS, sie kann aber auch einen Rückschluss über eine Bewusstseinsstörung geben. Die Veränderung der Pupillen wird durch Verschiebung der UV-Koordinaten im Bereich der Augen erreicht. Die entsprechenden UV-Koordinaten wurden exportiert und der Game-Engine zur Verfügung gestellt. Da der Basis-Avatar einheitliche UV-Koordinaten besitzt, können die Koordinaten für alle erstellten Avatare genutzt werden.

Die verbale Kommunikation wird über das Text-To-Speech-System Mary-TTS realisiert. Je nach Zustand werden hier vordefinierte Sätze als Antwort auf Fragen der Rettungskraft wiedergegeben. Tabelle 21 zeigt ein Beispiel für mögliche Fragen und die dazugehörigen Antworten. Die Antworten auf die Fragen sind variabel und

**Tabelle 21:** Fragen zur Klärung des Bewusstseins

	Wie heißen Sie?	Wo sind Sie?	Welcher Tag ist heute?
<b>orientiert</b>	Max Muster	In Kassel	Richtiger Tag
<b>verwirrt</b>	Max Muster	An der Arbeit	Dienstag oder Mittwoch
<b>inadäquat</b>	Max Muster	Stoppt die Ameisen	Es ist schön hier
<b>unverständlich</b>	Stöhnen	Stöhnen	Stöhnen
<b>keine Antwort</b>	-	-	-

werden durch eine Datenstruktur repräsentiert. Je nach eingestellter Bewusstseinslage

<sup>288</sup>Vgl. AKEN, H. et al.: Intensivmedizin. 2. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2007, S. 1427 ff.

bzw. Punktzahl laut GCS gibt der Avatar die entsprechende Antwort wieder.

Die motorische Reaktion wird primär durch verschiedene Animationen umgesetzt. Daher wurden Animationen für die unterschiedlichen Punktzahlen entwickelt. Ein typisches Beispiel ist hier das gezielte Berühren der Nase mit der Fingerspitze. Ein ausgelöster Schmerzreiz wird zusätzlich noch akustisch über das Mary-TTS und visuell über das Morph-target „Schmerz“ (Pain) realisiert.

### 8.3 Darstellung von Erster-Hilfe

Die Sichtungsalgorithmen der Triage erfordern nur wenige Erste-Hilfe-Maßnahmen.

Um die Symptome eines Verletzten zu erkennen, muss dieser zunächst angesprochen werden. Ein zusätzliches kurzes Rütteln des Verletzten unterstützt den Vorgang der Kommunikation.

Viele Erste-Hilfe-Maßnahmen müssen von den Helfern aktiv ausgeführt werden. Zur Realisierung der Abläufe sind zum einen Echtzeit-Motioncapturing-Verfahren und zum anderen vordefinierte Animationen möglich. Sind zur Steuerung der Avatare keine Echtzeit-Motioncapturing-Verfahren verfügbar (vgl. Abschnitt 11.1), können aufgezeichnete Bewegungsabläufe zum Beispiel für das Anlegen des Druckverbands und die Lagerungstherapie eingesetzt werden. Diese geben die Aktionen unter Echtzeitbedingungen wieder.

Zur Kontrolle der Atemwege muss sich die Einsatzkraft über den Avatar beugen und den Mund öffnen. Das Beugen über den Avatar und das Öffnen des Mundes wird über eine Animation realisiert. Der Vorgang des Mundöffnens und die Herausnahme des Objekts werden ebenfalls durch Bone-based-Animation dargestellt. Zum Freimachen der Atemwege wird das vorgestellte Überstrecken des Kopfes in Form einer Bone-based-Animation eingesetzt. Abbildung 70 stellt den Ablauf für das Überstrecken des Kopfes in MotionBuilder dar.

Zur Verhinderung einer erneuten Blockierung der Atemwege wird die Stabile Seitenlage empfohlen. Auch diese wird durch eine Animation dargestellt (vgl. Abbildung 71).

Sollte ein Verletzter einen Volumenmangelschock haben, wird als Lagerungstherapie die Schocklage empfohlen. Bei der Schocklage werden die Beine um 20–30 cm angehoben, damit mehr Volumen für die lebenswichtigen Organe bereitsteht. Auch



(a) Ausgangsposition



(b) Finale Position

**Abbildung 70:** Darstellung des Überstreckens des Kopfes in MotionBuilder



(a) Ausgangsposition



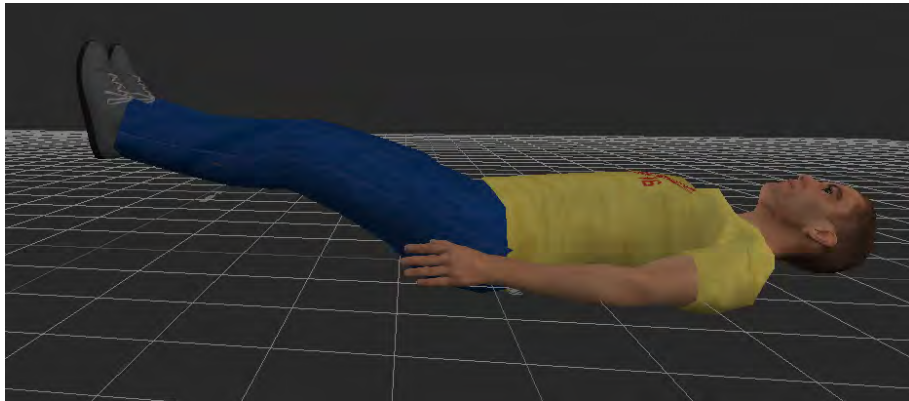
(b) Finale Position

**Abbildung 71:** Darstellung der Stablen Seitenlage in MotionBuilder

hierfür wurde eine Bone-based-Animation eingesetzt (vgl. Abbildung 72).

Ein Druckverband wird zum Stoppen der Blutung angewandt. Dabei wird die Wunde mit einer Mullbinde und einem Druckkörper auf die entsprechende Wunde verbunden. Die Darstellung des Druckverbands wird durch ein zusätzliches 3D-Objekt erreicht, welches für die Extremitäten entsprechend skaliert werden kann. Dies wird nach Anlegen auf der entsprechenden Stelle am Körper angezeigt.

Die Ergebnisse der Sichtung werden in der Verletzten-Anhängekarte dokumentiert. Diese Karte wird dem Verletzten nach der Sichtung umgehängt. Die Darstellung der Karte wird durch ein planares 3D-Objekt (Plane) mit der entsprechenden Textur in Anlehnung an Abbildung 13 erreicht. Die Informationen über die Sichtung können durch ein Grafisches-User-Interface in die Verletzten-Anhängekarte eingetragen werden.



**Abbildung 72:** Darstellung der finalen Position der Schocklage in MotionBuilder

## 9 Realisierung des Vitalmodells

Zur Realisierung des Vitalmodells wurden verschiedene Komponenten entwickelt. Anhand der Funktionen und Darstellungstechniken aus den Kapiteln 6 und 8 wurden die Komponenten *VitalParameters*, *Disorders*, *FirstAid* und *Display* erstellt. Ein Komponentendiagramm zur Veranschaulichung der Komponenten ist in Abbildung 73 dargestellt. Dabei werden die bereits aufgestellten Funktionen herangezogen und in eine Klassen-Hierarchie aufgeteilt. Die Umsetzung der einzelnen Klassen wurde für die Game-Engine Unity 3D in der Programmiersprache C# realisiert. Um eine hohe Wiederverwendbarkeit auch mit anderen Game-Engines zu ermöglichen, wird bei der Berechnung der Vitalwerte soweit möglich auf Funktionen der Game-Engine verzichtet.

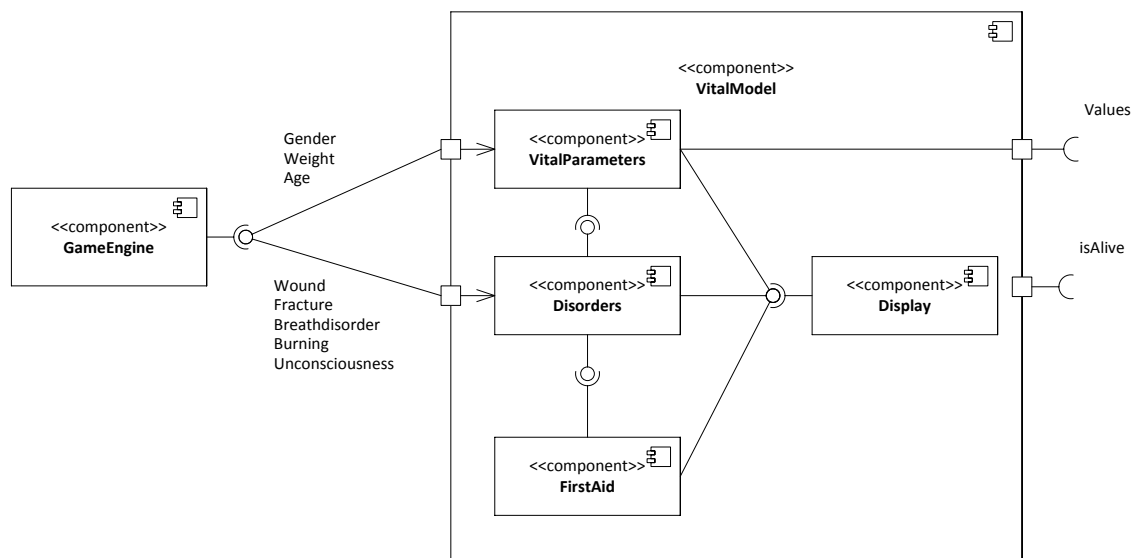
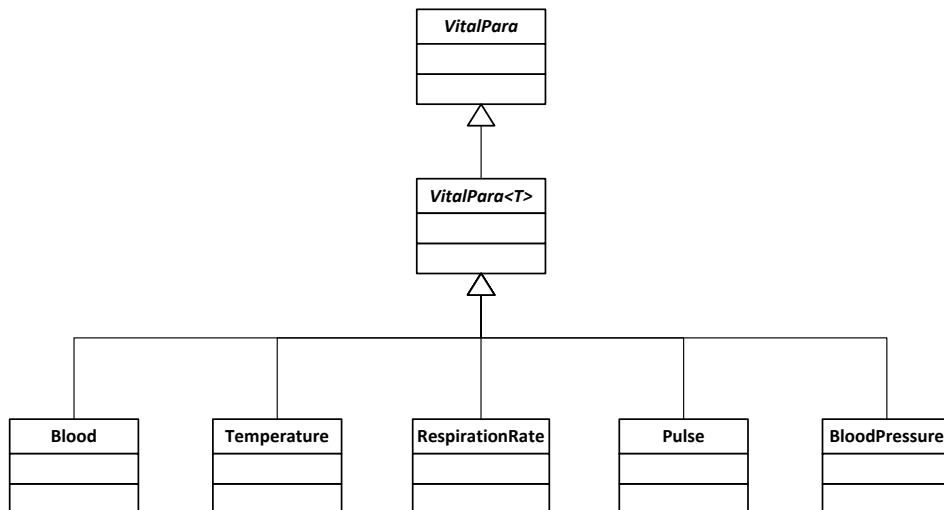


Abbildung 73: Komponentendiagramm des Vitalmodells in UML

Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten und ihre Funktionsweise erläutert.

## 9.1 Vitalparameter

Als Ausgangspunkt für die Realisierung der Vitalparameter dient das Klassendiagramm aus Abbildung 74.



**Abbildung 74:** Klassendiagramm der Komponente VitalParameters in UML

Die vorgestellten Vitalparameter Atemfrequenz, Blut, Blutdruck, Puls und Temperatur durchlaufen alle grundsätzlich verschiedene Phasen. Zunächst werden die Eingangsparameter (Alter, Geschlecht und Gewicht) den einzelnen Vitalparametern übergeben, um eine Initialisierung des Vitalparameters zu ermöglichen. Die Eingangsparameter sind variabel und sollten mit den in MakeHuman eingestellten Werten übereinstimmen. Werden keine Daten angegeben, wird standardmäßig von einem 25-jährigen männlichen Erwachsenen mit einem Gewicht von 75 kg ausgegangen.

Da jeder initiale Wert in gewissen Intervallen liegt, werden Zufallszahlen in den entsprechenden Intervallen generiert.

Jeder Vitalparameter wird durchgängig über die Game-Engine Update-Funktionalität aktualisiert. Dadurch kann auf Zeitereignisse reagiert werden.

Zur Abfrage des aktuellen Wertes des Vitalparameters wird eine öffentlich zugreifbare Schnittstelle angeboten. Des Weiteren werden Minimal- und Maximal-Wert bereitgestellt. Bewegt sich der Vitalparameter nicht in diesem Bereich, kann dies abgefragt werden.

Die Vitalparameter werden in Unity 3D über den internen *Inspector* eingestellt

(vgl. Abbildung 75).

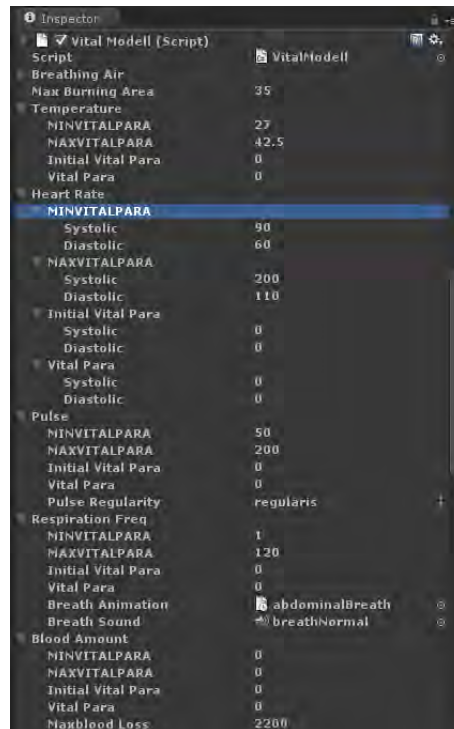


Abbildung 75: Einstellung der Vitalparameter mit dem Unity 3D Inspector

### 9.1.1 Atemfrequenz

Für die Initialisierung der Atemfrequenz und des Atemzugvolumens werden die Werte aus den Gleichungen 6.1 und 6.2 herangezogen.

Die Atemfrequenz wird durch die Update-Funktion regelmäßig aktualisiert und kann damit das Abspielen des in Kapitel 8 vorgestellten Atemgeräuschs und ein Anheben des Brustkorbes steuern.

Fällt die Atemfrequenz unter den Minimalwert, wird eine Blau-Färbung der Nagelbetten und Lippen ausgelöst.

### 9.1.2 Blut

Die Blutmenge wird anhand der Gleichung 6.7 bestimmt. Dazu muss im Vitalmodell das Gewicht festgelegt sein. Die Blutmenge wird grafisch oder akustisch nicht dargestellt.



Der Bereich des Vitalparameters Blut bewegt sich zwischen dem Initial-Wert und dem maximalen Blutverlust. Dieser ist individuell festlegbar und wird standardmäßig mit 50 % initialisiert.

### 9.1.3 Puls

Die Pulsfrequenz wird über die Gleichung 6.3 initialisiert. Standardmäßig ist der Pulsrhythmus *regular* und die Qualität *good*. Diese Einstellungen können allerdings durch den Benutzer geändert werden.

Das Verhalten über die Regelmäßigkeit wird durch die Update-Funktion gesteuert. Ist der Parameter Pulsrhythmus *irregular*, wird nach jedem Update eine Zufallszahl zwischen -1 und 1 generiert und zur normalen Frequenz addiert. Dadurch wird die Frequenz unregelmäßig ausgelöst.

Die Frequenz liegt zwischen dem Minimal- und Maximal-Wert.

### 9.1.4 Blutdruck

Die Initialisierung der Systole und Diastole des Blutdrucks wird über die Gleichungen 6.5 und 6.6 durchgeführt. Die Werte des Blutdrucks können über die öffentlich zugreifbare Schnittstelle abgefragt werden und liegen zwischen dem Minimal- und Maximal-Wert. Zusätzlich werden die in Kapitel 8 vorgestellten Symptome Blässe und Schwindel bei zu niedrigem Blutdruck ausgelöst.

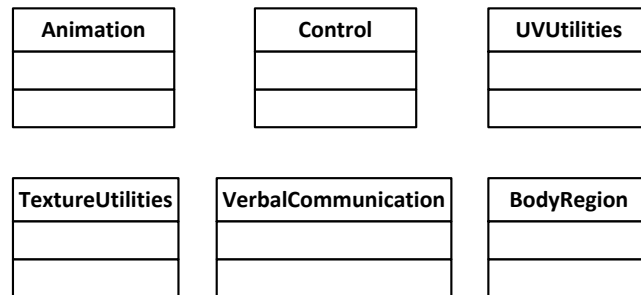
### 9.1.5 Temperatur

Die Temperatur wird anhand der Gleichung 6.4 initialisiert. Die Abfrage geschieht über die öffentlich zugängliche Schnittstelle. Der Wert liegt zwischen dem eingestellten Minimal- und Maximal-Wert (36 °C und 38 °C). Fällt die Temperatur aufgrund des Todes, wird ein Erblassen des Körpers dargestellt.

## 9.2 Darstellung

Dieser Abschnitt beschreibt die in dem Vitalmodell verwendeten Algorithmen und Mechanismen zur visuellen und akustischen Darstellung der Vitalparameter, Verlet-

zungen und Symptome an einem Avatar. Das Klassendiagramm in Abbildung 76 führt die dafür erstellte Klassenstruktur auf.



**Abbildung 76:** Klassendiagramm der Komponente Display in UML

### 9.2.1 Prozedurale Texturen

Für die Umsetzung der prozeduralen Texturen wurden verschiedene Verfahren eingesetzt, die in der Klasse *TextureUtilities* zusammengefasst wurden.

Die Erzeugung von Rot- und Blau-Färbungen wird durch das Inkrementieren einzelner Farb-Kanäle der Textur erzielt. Dazu wird jedem Pixel ( $Z$ ) im entsprechenden *einzelnen* Farb-Kanal ein Offset addiert. Auch die Helligkeit der Textur kann mit diesem Verfahren erhöht werden. Dazu muss *jedem* Farb-Kanal ein Offset addiert werden (vgl. Gleichung 9.1).

$$Z = \begin{pmatrix} Z_{\text{red}} \\ Z_{\text{green}} \\ Z_{\text{blue}} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{Offset}_{\text{red}} \\ \text{Offset}_{\text{green}} \\ \text{Offset}_{\text{blue}} \end{pmatrix} \quad (9.1)$$

Zum Überlagern von zwei Texturen wird der Alpha-Blending-Algorithmus eingesetzt.<sup>289</sup> Bei dem Alpha-Blending-Algorithmus werden zwei RGBA Pixel ( $X$  und  $Y$ ) auf Basis des Alpha-Wertes miteinander verknüpft (vgl. Gleichung 9.2). Mit dem Alpha-Blending können weiche Übergänge bei den Überlagerungen der Texturen

<sup>289</sup>Vgl. PORTER, THOMAS/DUFF, TOM: Compositing digital images. In: ACM Siggraph Computer Graphics, 18 1984 Nr. 3, S. 256.

erzielt werden.

$$Z = \frac{1}{\alpha_Z} (\alpha_X X + (1 - \alpha_X) \alpha_Y Y)$$

$$\alpha_Z = \alpha_X + (1 - \alpha_X) \alpha_Y$$
(9.2)

Um die Textur möglichst effizient zu erstellen, wird zusätzlich das entwickelte Regions-Template eingesetzt. Dadurch muss nicht jedes Pixel, sondern nur die Indices der entsprechenden Regionen verarbeitet werden.

Werden mehrere Verletzungen kombiniert, können sich Texturen durch die prozedurale Realisierung überlagern. Dabei kann es zu einem irrealen Zustand der Hauttextur kommen. Exemplarisch kann hier eine Wunde und eine Verbrennung des Grades II genannt werden. Eine Wunde muss eine Verbrennung des Grades II überlagern, da sie die Verbrennung zerstören würde. Zur Vermeidung falsch generierter Texturen wurde daher eine Priorisierung der einzelnen Texturen entwickelt. Tabelle 22 stellt die Prioritäten der einzelnen Texturen dar. Je niedriger die Priorität, desto später wird die Textur mit der Hauttextur kombiniert. Das gleiche Verfahren wird auch bei Kleidungsstücken angewandt. Hierbei sind allerdings nicht so viele Kombinationen möglich.

**Tabelle 22:** Prioritäten bei prozeduralen Texturen

Priorität	Hauttextur	Kleidung
1	Verbrennung Grad III	Verbrennung Grad III
2	Wunden	Blutung
3	Verbrennung Grad II	-
4	Hämatome	-
5	Rötung	-
6	Blässe	-

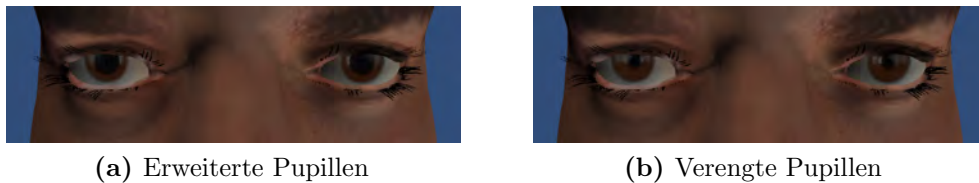
### 9.2.2 UV-Skalierung

Die Klasse UVUtilities stellt die Funktionalität zur Verschiebung der UV-Koordinaten für die Pupillen zur Verfügung. Hier werden die bereits extrahierten und exportierten zweidimensionalen UV-Koordinaten eingesetzt. Da für jedes Auge einzelne Koordinaten existieren, können diese separat animiert werden. Der verwendete Algorithmus skaliert mit  $s$  die zweidimensionalen Koordinaten  $u, v$  gleichmäßig in Abhängigkeit

einer vorgegebenen Referenz-Koordinate  $P$  (vgl. Gleichung 9.3).

$$\begin{pmatrix} u' \\ v' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (u - P_u) \cdot s + P_u \\ (v - P_v) \cdot s + P_v \end{pmatrix} \quad (9.3)$$

Abbildung 77 zeigt exemplarisch die Verschiebung der UV-Koordinaten und die dadurch resultierende Erweiterung bzw. Verengung der Pupillen.



**Abbildung 77:** Verschiebung der UV-Koordinaten zur Darstellung unterschiedlicher Zustände der Pupillen

### 9.2.3 Kommunikation

Die Kommunikation zwischen Verletztem und Einsatzkraft ist wichtig, um Verletzungen beurteilen zu können. Damit eine variable Sprachausgabe erzeugt werden kann, wird hier das von TÜMMLER, JÖRN bereits vorgestellte Text-to-Speech System Mary-TTS eingesetzt. Das Text-to-Speech-System wird durch eine Server-Anwendung bereitgestellt und ist als Java-Anwendung implementiert.

Die Kommunikation mit dem Server wird durch http-Requests durchgeführt. Zur Nutzung aller Möglichkeiten des Mary-TTS-Systems wird der http-Request über die MaryXML-Syntax realisiert. Eine ausführliche Dokumentation ist auf der offiziellen Webseite des Mary-TTS Systems hinterlegt.<sup>290</sup>

Unity 3D benötigt bei http-Abfragen eine Policy-Richtlinie in Form einer *crossdomain.xml*. Diese muss auf dem Server verfügbar sein, um eine Abfrage erfolgreich durchzuführen. Da der Mary-TTS-Server diese *crossdomain.xml* nicht beinhaltet, wurde diese in die Serverfunktionalität integriert. Für eine Sprachausgabe mit Emotionen wurden die zwei Varianten Positiv und Negativ entwickelt. Zur Realisierung wird auf die integrierte Emo-Speak-Komponente zugegriffen. Zur Ansteuerung der

<sup>290</sup>DEUTSCHES FORSCHUNGSZENTRUM FÜR KÜNSTLICHE INTELLIGENZ GMBH: The MARY Text-to-Speech System.

Emo-Speak-Komponente muss innerhalb der MaryXML das Element `<prosody>` eingefügt werden.

Da mit dem TTS-System jeder Text vorgegeben werden kann, wurden mögliche Antworten auf Fragen über den Zustand der Verletzten in Form von Zeichenketten bzw. *strings* angegeben.

Die für die Kommunikation von Game-Engine Unity 3D und TTS-System betreffenden Änderungen des Mary-TTS Source-Codes sowie Konfigurationen und Parameter der Emotions-Steuerung sind in Anhang C aufgeführt.

### 9.2.4 Animationen

Die Klasse *Animation* hält eine Liste aller notwendigen Animationen bereit (vgl. Tabelle 23). Für die Darstellung der Animationen wurde das Animations-System von Unity 3D eingesetzt. Dieses ermöglicht es, jegliche Parameter der Komponenten über die Zeit zu animieren.

**Tabelle 23:** Prioritäten der Animationsarten

Layer	Animation	Animationsart
1	Lagerungstherapie	Bone-based-Animation
1	Liege-, Steh- und Lauf-Bewegungen	Bone-based-Animation
2	Inverse Kinematik	Prozedurale Animation
3	Frakturen	Morph-target-Animation
3	Atmung	Morph-target-Animation
4	Sprache	Morph-target-Animation
5	zusätzliche Mimik	Morph-target-Animation

Die bereits erzeugten Animationen werden der Klasse im Unity-Inspector hinzugefügt und stehen damit dem Animations-System zur Verfügung. Beim Abspielen von Animationen bieten sich Prioritäten an, um verschiedene Animationen zu vereinen bzw. zu kombinieren. Eine Priorisierung wird in Unity 3D durch einen Animation-Layer vorgenommen. Je höher der Wert des Layers, desto höher ist die Priorität der Animation. Somit lassen sich beispielsweise Atmung, Schmerz (Mimik) und Stabile-Seitenlage (Lagerungstherapie) miteinander kombinieren.

### 9.2.5 Körperregionen

Zur Darstellung der Verletzungen an bestimmten Regionen wurden Körperregionen entwickelt. Die Klasse *BodyRegions* stellt alle benötigten Körperregionen für die

Anpassung der Texturen bereit. Zusätzlich stehen auch die Regionen für die Kleidung zur Verfügung.

Für die Bearbeitung der Texturen werden die Pixelindices der jeweiligen Regionen des Body-Region-Templates einmalig berechnet und bereitgestellt. Tabelle 24 stellt die erzeugten Körperregionen anhand der Topografie des Körpers dar.

**Tabelle 24:** Zuordnung von Körperteilen zu Körperregion

Region	Körperteil	Kleidung
lLowLeg	Linker Unterschenkel	Hose
rLowLeg	Rechter Unterschenkel	Hose
lUpLeg	Linker Oberschenkel	Hose
rUpLeg	Rechter Oberschenkel	Hose
lLowArm	Linker Unterarm	Oberteil
rLowArm	Rechter Unterarm	Oberteil
lUpArm	Linker Oberarm	Oberteil
rUpArm	Rechter Oberarm	Oberteil
lHand	Linke Hand	-
rHand	Rechter Hand	-
fLowBody	Bauch	Oberteil
fUpBody	Brust	Oberteil
bLowBody	Unterer Rücken	Oberteil
bUpBody	Oberer Rücken	Oberteil
neck	Hals	Oberteil
head	Kopf	-
lips	Lippen	-
nailbed	Nägel	-

### 9.2.6 Steuerung

Über die Klasse *Control* kann das Force-Feedback des Eingabegerätes aktiviert werden. Da Unity 3D keine Realisierung einer Force-Feedback-Funktion beinhaltet, wurde ein Plugin entwickelt, das über die DirectXInput Komponente das Force-Feedback ansteuert. Für die Ansteuerung werden Zeit und Intensität benötigt.

Grundsätzlich wird das Force-Feedback im Controller durch zwei Motoren erreicht, die entsprechend angesteuert werden können. Die beiden Motoren erzeugen ein Rütteln entlang der X- bzw. Y-Achse. Durch die Geschwindigkeit des Motors wird die Intensität gesteuert.

Das entwickelte Plugin stellt ein Interface zur Ansteuerung beider Motoren zur Verfügung. Als Parameter müssen die Zeit und die Intensität der beiden Motoren angegeben werden.

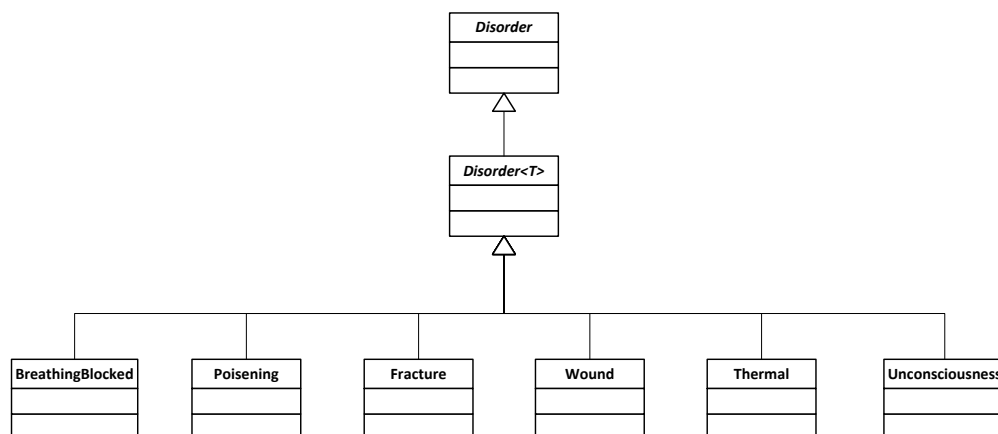
Durch dieses Plugin kann sowohl eine regular oder irregular Pulsfrequenz in Form des Rüttelns als auch die Qualität in Form der Intensität dargestellt werden. Der Erst-

helfer kann somit die Aspekte des Pulses abfragen und einschätzen. Die Rückmeldung im Controller geschieht unter annähernden Echtzeitbedingungen, sodass auch bei der Abfrage ein realer Zeitablauf gewährleistet wird.

## 9.3 Verletzungen

Ähnlich wie bei den Vitalparametern wurden gemeinsame Eigenschaften der Verletzungen in der Basisklasse *Disorder* zusammengefasst. Die vorgestellten Verletzungen wurden als jeweils konkrete Ausprägung der Klasse *Disorder* implementiert.

Jede Verletzung wird durch den *Verletzungswert* dargestellt, der für die jeweilige Beeinflussung der Vitalparameter und somit den Berechnungen dieser herangezogen wird. Das Klassendiagramm in Abbildung 78 stellt die Klassenstruktur der Verletzungen dar.



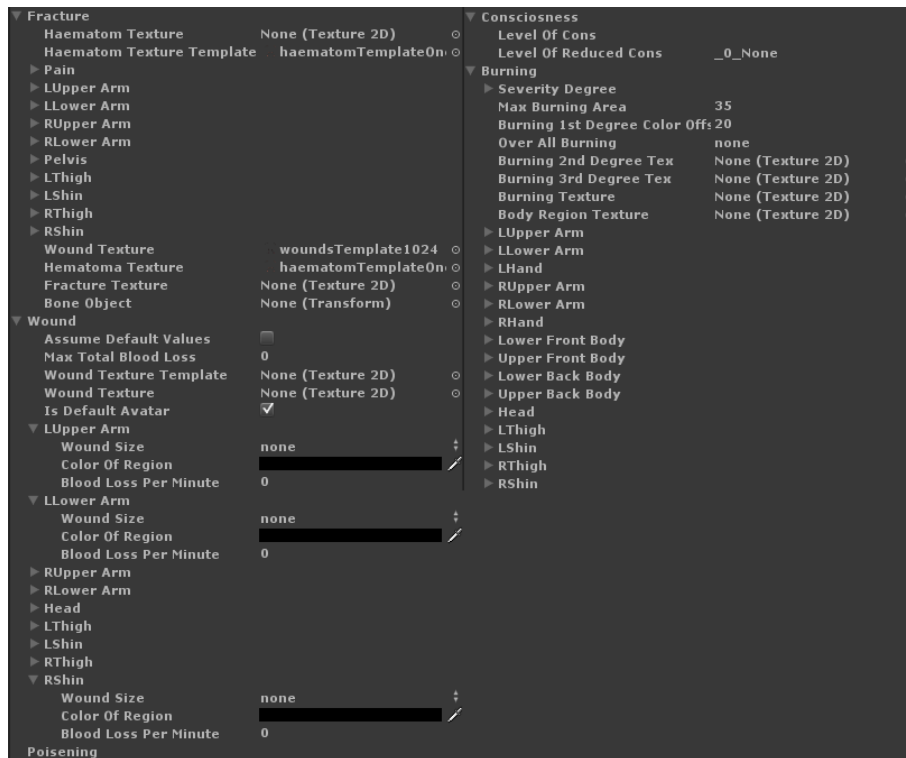
**Abbildung 78:** Klassendiagramm der Komponente Disorders in UML

Die Art der Verletzung kann über den Unity 3D Inspector festgelegt werden. Abbildung 79 führt die möglichen Einstellungen auf.

### 9.3.1 Wunden

Der Benutzer kann für die verschiedenen Regionen Wunden einstellen. Je nach Größe der Wunde kann entsprechend der Blutverlust in ml/min eingestellt werden.

Der Verletzungswert ist der prozentuale Blutverlust, der sich aus dem Verhältnis von aktuellem Blutverlust und initialer Blutmenge berechnet.



**Abbildung 79:** Einstellung der Verletzung mit dem Unity 3D Inspector

Zur Darstellung der Wunden auf der Haut wird eine Wunden-Template-Textur benötigt. Diese hat alle benötigten Wunden in den verschiedenen Bereichen und kann die Hauttextur mit den Wunden verknüpfen. Hierbei wird die Priorisierung aus Tabelle 22 herangezogen. Sind mehrere Verletzungsbilder eingestellt, werden die Wunden mit Priorität 2 auf die Hauttextur projiziert.

Abbildung 80 zeigt exemplarisch eine Wunde an dem linken Oberarm. Dabei wurde die Wunden-Textur aus Abbildung 65 mit der Haut-Textur kombiniert.

### 9.3.2 Frakturen

Frakturen werden durch den Unity 3D Inspector aktiviert. Es kann in den entsprechenden Regionen zwischen einer einfachen geschlossenen Fraktur, einer Fraktur mit Fehlstellung an den Extremitäten sowie einer Kombination aus Fehlstellung und Beschädigung von Blutgefäßen gewählt werden.

Der Verletzungswert ist wie bei Wunden der Blutverlust. Bei der einfachen geschlossenen Fraktur wird an der entsprechenden Region ein Hämatom angezeigt.





**Abbildung 80:** Darstellung einer Wunde auf dem linken Oberarm in Unity 3D

Dazu wird die Hämatom-Template-Textur (vgl. Abbildung 67) herangezogen und mit der Priorität 4 mit der Hauttextur kombiniert. Zusätzlich wird das Morph-target „Pain“ zur Gesichtsanimation herangezogen und zu 25 % aktiviert. Dazu muss das Morph-target im Inspektor angegeben werden.

Fehlstellungen werden durch Morph-targets in den entsprechenden Regionen dargestellt. Ist eine Fehlstellung eingestellt, wird das Morph-target aktiviert und animiert. Zur Darstellung von Schmerzen wird bei einer Fehlstellung das Morph-target Schmerz mit 70 % aktiviert.

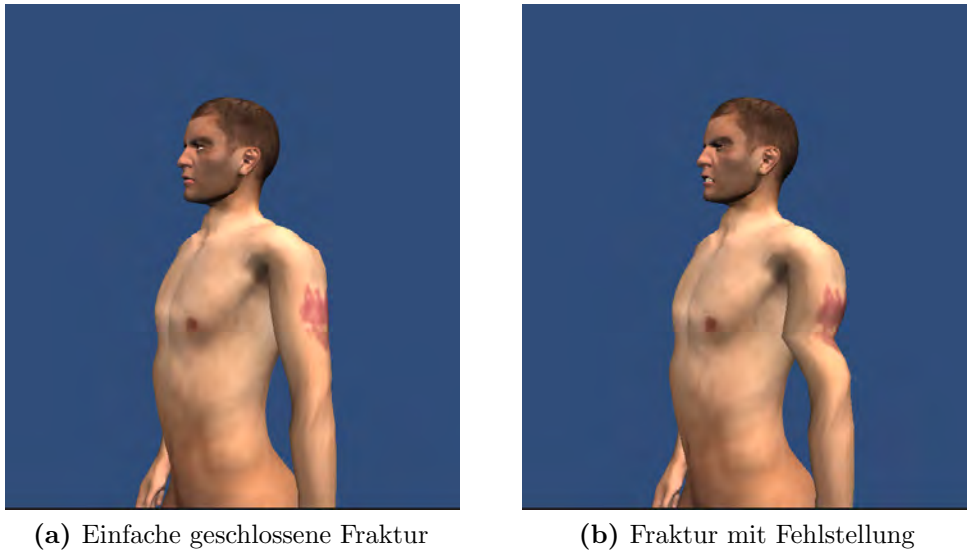
Während der Initialisierung der Verletzung werden die Morph-targets aktiviert und somit auf dem Avatar dargestellt.

Liegt zusätzlich zur Fehlstellung eine Beschädigung von Blutgefäßen vor, wird analog zur Berechnung des Blutverlusts bei Wunden in der Update-Funktion der kombinierte Blutverlust aller eingestellten Frakturen mit Beschädigung von Blutgefäßen zusammengefasst und auf die aktuelle Blutmenge angewandt.

Abbildung 81 zeigt exemplarisch eine einfache geschlossene Fraktur und eine Fraktur mit Fehlstellung am linken Oberarm.

### 9.3.3 Thermische Verletzungen

Zur Darstellung von Verbrennungen unterschiedlicher Grade wird in Unity 3D ebenfalls der Inspector herangezogen. Dort wird die entsprechende Region gewählt



**Abbildung 81:** Darstellung einer einfachen geschlossenen Fraktur (a) und einer Fraktur mit Fehlstellung (b) des linken Oberarms in Unity 3D

und der Grad der Verbrennung zugewiesen. Die Regionen beschränken sich hierbei auf die bereits vorgestellte 9er-Regel (vgl. Abschnitt 6.2.2).

Zusätzlich werden vom Benutzer der Wert der Rötung sowie die Textur-Templates für die Verbrennungsgrade II und III eingestellt.

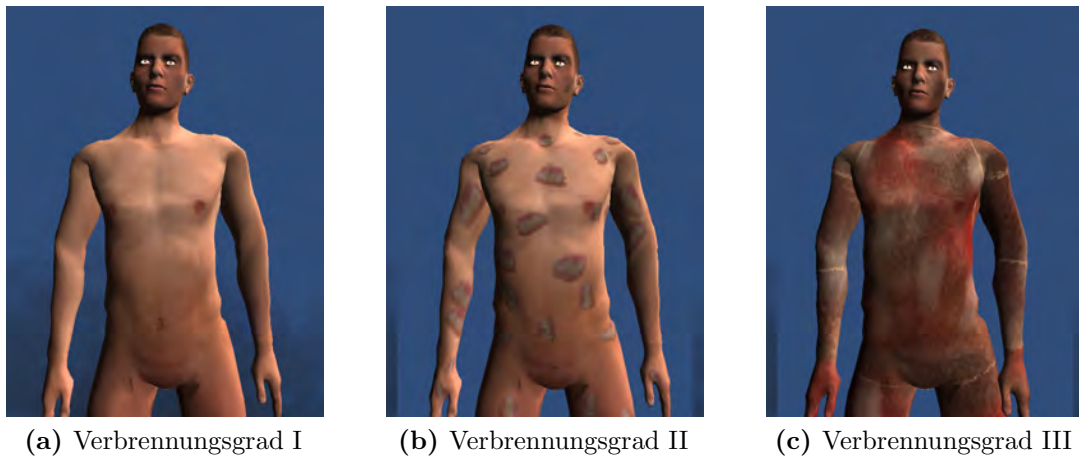
Der Verletzungswert ist bei thermischen Verletzungen das Skalarprodukt des Vektors aus Gleichung 6.10 und der Anzahl der Ausprägungen der Grade der 9er-Regionen. Für eine höhere Flexibilität kann der Vektor aus Gleichung 6.10 angepasst werden.

Abbildung 82 stellt die Auswirkungen der unterschiedlichen Verbrennungsgrade auf dem verletzten Avatar dar.

### 9.3.4 Störung der Atemwege

Die Störung der Atemwege kann in diesem Modell durch eine Kohlenstoffmonoxidvergiftung (Klasse *Poisoning*) oder durch eine Blockierung (Klasse *BreathingBlocked*) geschehen.

Bei einer Blockierung wird ein 3D-Objekt erzeugt, welches sich im Rachen befindet. Wird dieses in der geforderten Zeitspanne entfernt (vgl. Gleichung 6.14), setzt die Atmung wieder ein. Solange die Atemwege blockiert sind, wird die akustische und



**Abbildung 82:** Darstellung der drei Verbrennungsgrade in Unity 3D

optische Darstellung der Atemfrequenz nicht angezeigt.

Der Verletzungswert berechnet sich hierbei als Quotient zwischen abgelaufener Zeit und maximaler Zeit ohne Sauerstoff.

Bei der Vergiftung durch Kohlenstoffmonoxid wird als Verletzungswert das Verhältnis zwischen Gesamthämoglobin und COHb-Wert herangezogen. Entsprechend des prozentualen Wertes antwortet der Avatar auf Fragen nach dem Befinden mit den vorgestellten Symptomen wie Übelkeit, Kopfschmerzen oder Halluzinationen.

Für die Berechnung des COHb Wertes über Gleichung 6.11 wird der Anteil des CO ( $ppmCO$ ) in der Atemluft benötigt. Für eine realitätsnahe Berechnung wird die unmittelbare Umgebungsluft benötigt. Dieser Faktor wird durch Atemluft-Zonen erreicht. Befindet sich der Verletzte innerhalb einer Zone, wird der entsprechende Zonen-Wert für CO genutzt. Somit ist es auch möglich, die Atemluft einer Zone durch externe Berechnungen vorzugeben, beispielsweise durch die Software Fire-Dynamics-Simulator.<sup>291</sup>

### 9.3.5 Bewusstseinsstörungen

Der Verletzungswert der Bewusstseinsstörung wird durch die Anzahl der Punkte nach der Glasgow Coma Scale bestimmt.<sup>292</sup> Über den Unity-Inspector werden die

---

<sup>291</sup>NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY: Fire Dynamics Simulator. (URL: <http://code.google.com/p/fds-smv/>) – Zugriff am 5.6.2011.

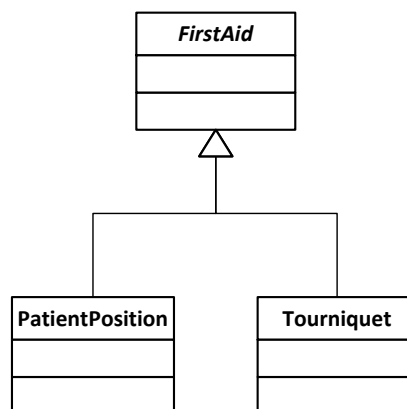
<sup>292</sup>Vgl. TEASDALE/JENNETT: The Lancet, Nr. 7872, Bd. 304, 1974.

jeweiligen Punkte in den drei Kategorien Augenöffnung, motorische Reaktion und verbale Kommunikation bestimmt.

Die entsprechenden Reaktionen können nur von dem Spieler abgefragt werden. Je nach Kategorie werden im Anschluss an die Frage bzw. Aktion die hinterlegten Antworten bzw. Animationen abgespielt.

## 9.4 Erste Hilfe

Zur Umsetzung der geforderten Erste-Hilfe-Maßnahmen wurde die Klassenstruktur FirstAid entwickelt (vgl. Abbildung 83). Da alle Maßnahmen nur einmalig ausgeführt werden können, ist keine komplexe Struktur notwendig. Für die Berechnung der Vitalwerte ist hier die Abfrage eines Booleschem Wertes implementiert. Wurden Erste-Hilfe-Maßnahme ausgeführt, zeigt dieser Wert *wahr* an. Standardmäßig ist er auf *falsch* gesetzt. Die Klasse *PatientPosition* stellt die für die Lagerungstherapie



**Abbildung 83:** Klassendiagramm der Komponente FirstAid in UML

notwendigen Animationen zur Verfügung. Die Klasse *Tourniquet* stellt das 3D-Polygon-Netz der Druckverbände bereit. Diese sind in Abhängigkeit der eingestellten Wunden anzupassen und im Unity-Inspector anzugeben.



# 10 Erstellung virtueller Szenarien

Um den Anforderungen von lokalen Trainingsszenarien gerecht zu werden, werden im Folgenden Möglichkeiten zur Generierung dieser aufgezeigt. Zur Darstellung von virtuellen Szenarien auf Basis von georeferenzierten Daten müssen einige Schritte unternommen werden, damit diese in der Game-Engine eingesetzt werden können.

Georeferenzierte Daten werden üblicherweise im SHP-Format angeboten. Diese sind georeferenzierte Vektordaten, die auf einem Koordinatensystem bestehen. In Deutschland ist das Bessel-Ellipsoid, auch Bessel 1841 genannt, verbreitet.<sup>293</sup> Zur Verarbeitung dieser Daten wird i. d. R. GIS (Geoinformationssystem)-Software benötigt. Für die Konvertierung der Daten bietet sich die Open-Source-Software Quantum GIS an. Quantum GIS ist unter der GNU General Public License lizenziert und so kostenlos nutzbar.<sup>294</sup> Die Verwendung von georeferenzierten Daten zur Generierung von Umgebungen innerhalb der Game-Engine ermöglicht die Erstellung von sehr realistischen Szenarien. Problematisch ist allerdings der Import der Daten in die Game-Engines. Durch die Schnittstellen ist es grundsätzlich nicht möglich, georeferenzierte Daten direkt in die Game-Engine zu laden.

Die Beschreibung des Arbeitsprozesses (BPMN-Notation) zur Nutzung von georeferenzierten Daten in der Game-Engine Unity3D wird in Abbildung 84 aufgezeigt. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Arbeitsschritte innerhalb der Softwaretools beschrieben.

---

<sup>293</sup>NETELER, MARKUS/MITASOVA, HELENA: Open source GIS: a GRASS GIS approach. Band 773, 3. Auflage. New York: Springer, 2008.

<sup>294</sup>QGIS PROJECT: QGIS User Guide 1.7.0. Open Source Geospatial Foundation, 2011 (URL: [http://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-1.7.0\\\_user\\\_guide\\\_en.pdf](http://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-1.7.0\_user\_guide\_en.pdf)).

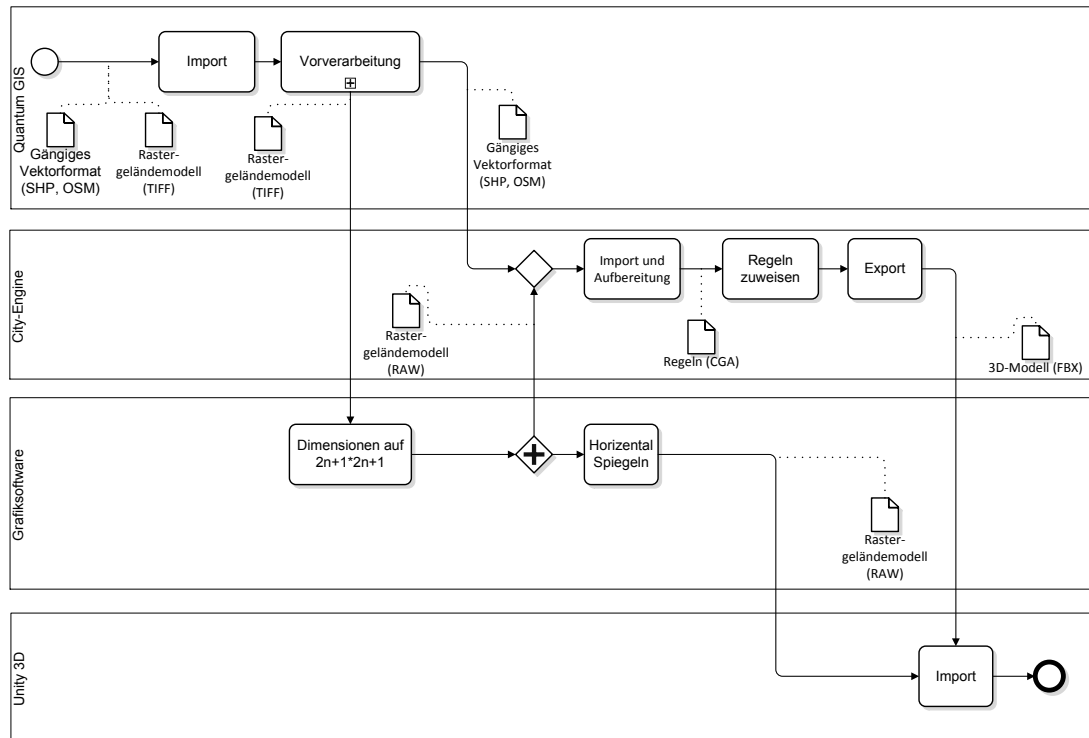


Abbildung 84: Arbeitsschritte zur Erstellung virtueller Szenarien

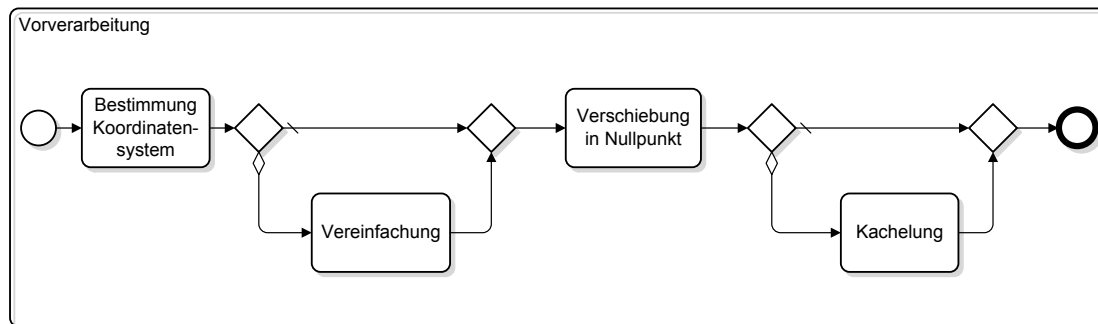
## 10.1 Vorverarbeitung

Zunächst müssen die Vektordaten in die Software Quantum GIS importiert werden. Vor dem Importvorgang muss allerdings das Referenz-Koordinatensystem festgelegt werden, um eine einheitliche Darstellung der Daten zu gewährleisten. Da unterschiedliche Dateiformate möglich sind, muss je nach Dateiformat unterschiedlich vorgegangen werden. Das Dateiformat SHP kann direkt über *Vektorlayer hinzufügen* importiert werden. Für die Nutzung des Dateiformats OSM muss zusätzlich das OpenStreetMap-Plugin genutzt werden. Dieses Plugin kann über die interne Plugin-Datenbank bezogen werden.

Zur Erstellung von Geländedaten bieten sich Höhenkarten in Form von Bildern (Format GeoTIFF) an. Der Farbwert eines jeden Pixels repräsentiert innerhalb des Bildes einen Höhenwert. Die Auflösung bestimmt die Größe des Geländes. Innerhalb des Formates GeoTIFF wird auch die Auflösung eines Pixels angegeben, beispielsweise 20 m x 20 m pro Pixel. Somit kann über die Breite und Höhe der Karte multipliziert mit der Pixelgenauigkeit die Fläche des Geländes berechnet werden. Zusätzlich zu den

Dimensionen muss über das Histogramm der minimale und maximale Höhenwert bestimmt werden. Diese Werte sind für City Engine und Unity3D notwendig, um die Ausdehnung der Geländeinformationen aufgrund der Höhenkarte zu berechnen.

Die einzelnen Schritte der Vorverarbeitung innerhalb der Software Quantum GIS sind in BPMN-Notation in Abbildung 85 aufgeführt.



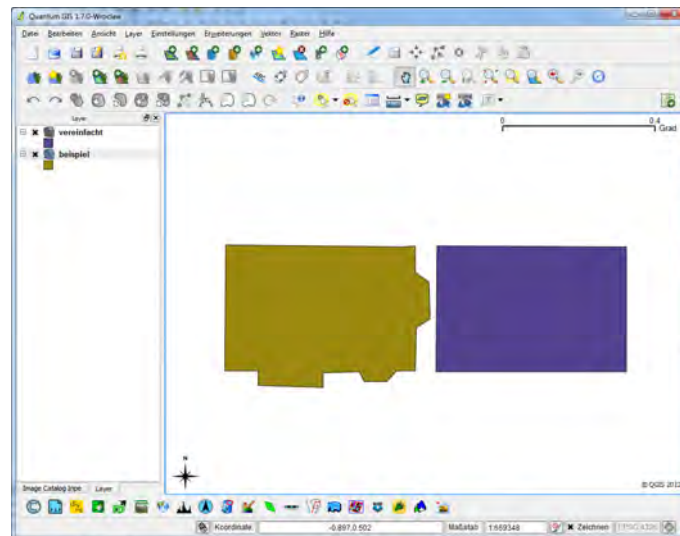
**Abbildung 85:** Arbeitsschritte zur Vorverarbeitung der Geodaten in Quantum GIS

Sind die Daten importiert, können diese bei Bedarf noch vereinfacht werden. Eine Vereinfachung ist vor allem bei Gebäude-Grundrissen sinnvoll, um die Polygonzahl der einzelnen Gebäude zu reduzieren. Zur Reduzierung bietet Quantum GIS die Funktion *Geometrien vereinfachen* an. Durch diese Funktion können beispielsweise vorstehende Eingänge entfernt werden. Abbildung 86 zeigt exemplarisch die Vereinfachung eines Grundrisses. Der Parameter *Vereinfachungstoleranz* wurde hier auf den Wert 0,05 eingestellt.

Im Anschluss an die optionale Vereinfachung der Grundrisse müssen sie in den Nullpunkt verschoben werden. Dieser Schritt ist notwendig, da im weiteren Verlauf die Game-Engine nicht mit einer so hohen Genauigkeit der Nachkommastellen arbeitet, wie die GIS-Software. Durch die Ungenauigkeit könnten im späteren Verlauf Überlappungen der Grundrisse entstehen. Um dies zu umgehen, werden alle Layer in den Nullpunkt verschoben. Dazu ist das externe Plugin *qgsAffine*<sup>295</sup> notwendig, welches ebenfalls über die interne Plugin-Datenbank bezogen werden kann. Zunächst sollte die Höhenkarte verschoben werden. Diese Translation bildet die Grundlage für alle weiteren Translationen der einzelnen Layer.

<sup>295</sup>PAULO, MAURICIO DE: Plugin: Affine Transformations. (URL: <http://plugins.qgis.org/plugins/qgsAffine/>) – Zugriff am 02.02.2012.





**Abbildung 86:** Vereinfachung des Grundrisses: Komplex (links) → Vereinfacht (rechts)

Ist die Fläche der importierten Daten zu groß, können die Abschnitte auch gekachelt und so in beliebig große Stücke geteilt werden. Dazu muss zunächst ein Vektorgitter in der gewünschten Kachelgröße (Parameter X und Y) erstellt werden. Die Grenzen können durch die Ausdehnung der bisherigen Vektordaten bestimmt werden. Anschließend kann durch die Funktion *Clip* der gekachelte Vektorlayer mit dem Straßen- und/oder Gebäude-Vektorlayer geschnitten bzw. gekappt werden. Nachteilig kann hier das Beschneiden von Grundrissen sein, da die Grundrisse durch das Kappen teilweise gesplittet werden können.

Auch weitere georeferenzierte Daten können verarbeitet werden. Zu nennen sind hier Vegetations- oder Populationskarten. Anhand eines Farbwertes der Pixel können Regionen spezifiziert werden. Exemplarisch kann hier eine Waldregion genannt werden, die durch ein binarisiertes Bild dargestellt werden kann.

## 10.2 Aufbereitung des Geländemodells

Damit City-Engine und die Game-Engine auf einer gleichen Basis aufbauen, muss die Bilddatei der Höhenkarte ebenfalls bearbeitet werden. City-Engine hat keine besonderen Anforderungen an das Bildformat. Unity 3D benötigt allerdings ein bestimmtes Format und bestimmte Dimensionen für den Einsatz der Höhenkarte.

Zunächst muss die Höhenkarte mit einer Bildverarbeitungssoftware skaliert werden. Das Ergebnis der Skalierung muss quadratisch sein und die Dimensionen (Länge x Breite) müssen im Format  $2^n + 1 \times 2^n + 1$  sein, beispielsweise 513 x 513 oder 1025 x 1025. Anschließend wird dieses neue Bild für City-Engine im RAW-Format (MAC) bereitgestellt. Damit Unity 3D die gleiche Landschaft generiert, muss das skalierte Bild horizontal gespiegelt werden. Zum Abschluss muss auch dieses Bild im RAW-Format (MAC) gespeichert werden.

Neben den Höhenkarten können auch Baum- und Grasbestand mit entsprechenden Vegetations-Daten für Unity 3D zur Verfügung gestellt werden. Eine Beschreibung zur Integration dieser Vegetationsdaten ist in SIEMON/WLOKA: Realistische Terrains in Serious Games zu finden.<sup>296</sup>

## 10.3 Verarbeitung der Daten mit City-Engine

Auch für die Nutzung der vorverarbeiteten georeferenzierten Daten in City-Engine müssen entsprechende Einstellungen und Schritte durchgeführt werden, um ein realistisches Szenario zu erstellen. Die folgenden Abschnitte beschreiben die in Abbildung 84 unter City-Engine aufgeführten Arbeitsschritte.

### 10.3.1 Import und Aufbereitung

In City-Engine wird die Höhenkarte über die Funktion *Layer* → *new Map Layer* → *Terrain* hinzugefügt. Der anschließende Benutzerdialog fragt die minimalen und maximalen Höhenwerte ab, die im Arbeitsschritt Vorverarbeitung bereits berechnet wurden. Über die Parameter Breite und Höhe werden die Dimensionen gesetzt.

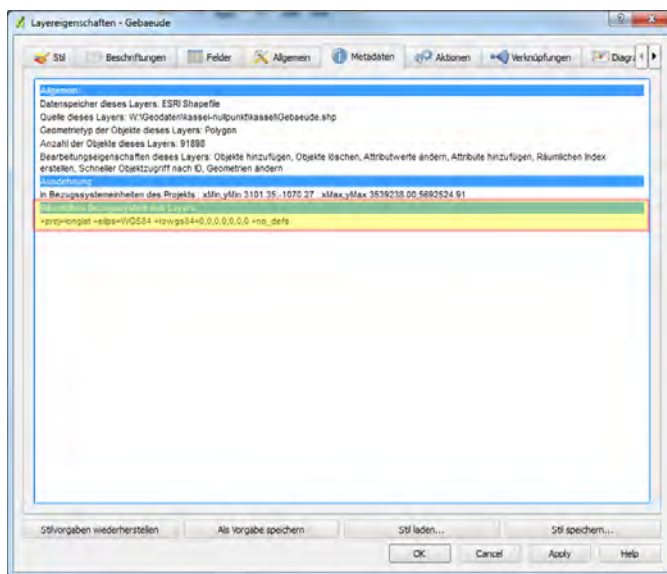
Im Anschluss werden die einzelnen Gebäudegrundrisse und das Straßennetz importiert. Jede Datei wird während des Importvorgangs in einen eigenen City-Engine Layer importiert. Vor dem Importieren ist das eingestellte Ellipsoid entscheidend. Dieses muss in City-Engine und Quantum GIS übereinstimmen. Eine Beschreibung der Parameter ist in der Dokumentation von PROJ.4 - Cartographic Projections Library zu finden.<sup>297</sup> Da eine Verschiebung in den Nullpunkt bereits in der Software

---

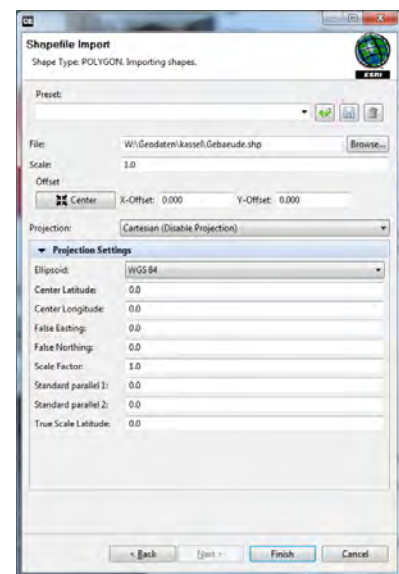
<sup>296</sup>SIEMON, ANDREAS/WLOKA, DIETER: Realistische Terrains in Serious Games. In: Tagungsband G-DAY, 4 2011.

<sup>297</sup>EVENDEN, GERALD: PROJ.4 - Cartographic Projections Library. (URL: <http://trac.osgeo.org/proj/>) – Zugriff am 11.08.2012.

Quantum GIS durchgeführt wurde, ist dies in City-Engine nicht mehr notwendig. Bei mehreren Gebäudegrundrissen und Straßendateien, beispielsweise bei der Generierung einer ganzen Stadt, können automatisierte Import-Skripte verwendet werden. Die Skripte sind in Anhang B zu finden. Innerhalb des Skriptes können ebenfalls die Importsettings und das zugrundeliegende Ellipsoid eingestellt werden. Abbildung 87 zeigt exemplarisch die eingestellten Importeinstellungen für georeferenzierte Daten der Stadt Kassel.



(a) Räumliches Bezugssystem in Quantum GIS



(b) Importeinstellung in City-Engine

**Abbildung 87:** Beschreibung des räumlichen Bezugssystems in Quantum GIS und dessen Einfluss auf die Importeinstellungen von georeferenzierten Daten in City-Engine

Die importierten Gebäudegrundrisse (in City-Engine als Shapes bezeichnet) und das Straßennetzwerk (in City-Engine als Network bezeichnet) müssen an die Höhenkarte angepasst werden. Dafür bietet City-Engine die Funktion *Align Layer* bzw. *Align Network* an. Als Basis für die Anpassung muss bei beiden Objekten die zu Beginn importierte Höhenkarte ausgewählt werden. Bei Align-Layer kann zwischen verschiedenen Anpassungen der Höhen gewählt werden. Sinnvoll ist hier, die Gebäudegrundrisse aufgrund des minimalen Punktes anzupassen. Somit werden schwebende Teile des Gebäudes vermieden. Ein Problem, welches nicht automatisiert gelöst werden kann,

ist das teilweise Kollidieren des Straßennetzes mit dem Gelände. Dieses wird durch die Anzahl der Punkte des Straßennetzwerks bedingt. Abbildung 88 zeigt das Prinzip des Anpassens des Straßennetzes und die daraus möglichen Folgen. Eine mögliche Lösung ist das manuelle Hinzufügen von Punkten, wodurch eine genauere Anpassung des Netzwerkes an das Gelände erfolgen kann.



**Abbildung 88:** Anpassung des Straßennetzes an das Geländemodell

Im Anschluss an die Anpassung des Straßennetzwerkes an das Geländemodell kann dieses noch vereinfacht und mögliche Kreuzungspunkte vereinigt werden. Dafür bietet City-Engine die Funktion *Cleanup-Graph* im Menü *Graph*. Über den Parameter *Merging Distance* werden Punkte innerhalb eines bestimmten Abstands zusammengefasst. Der Parameter *Snapping Distance* integriert Punkte in naheliegende Segmente.

Sind alle gewünschten Abschnitte importiert und vorbereitet, kann mit der Zuweisung der Regeln für diese begonnen werden (vgl. Abschnitt 10.3.2 bzw. 10.3.3).

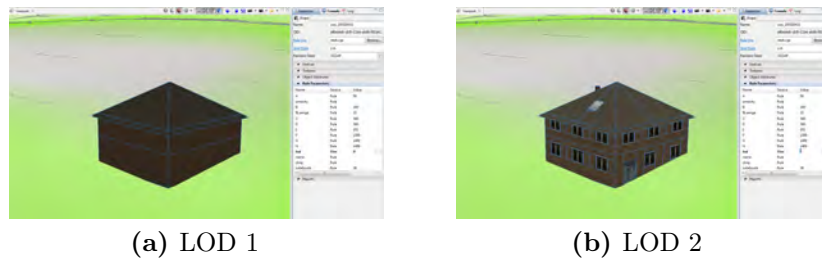
### 10.3.2 Regelbasierte Gebäudeerstellung

Für die Erstellung von Gebäuden auf den importierten Gebäudegrundrissen wurden verschiedene Regeln für unterschiedliche Gebäudearten erstellt. Das Verfassen von Regeln geschieht durch die interne Skript-Sprache CGA (Computer Generated Architecture).

Das Aussehen der zugrunde liegenden Shapes der hier entwickelten Implementierung definiert eine Einstiegsregel (*start.cga*) in Abhängigkeit der Parameter. Innerhalb der Einstiegsregel wird auf weitere Verzweigungsregeln verwiesen. Somit können auf einfache Weise neue bzw. weitere Gebäudetypen mit aufgenommen und so das Stadtbild weiter verfeinert werden.

Zur Optimierung der Darstellung wurde ein Parameter für den Detailgrad (Level of Detail) bereitgestellt. Da es sich hier nur um Außengebäude handelt, wird zwischen Level of Detail 1 (LOD 1) und Level of Detail 2 (LOD 2) unterschieden. LOD 1 basiert

lediglich auf einfachen Geometrien und Farben als Materialien. Es wird gänzlich auf Texturen verzichtet. Im LOD 2 wird das erstellte Gebäude detailreicher. Zu nennen sind hier beispielsweise Texturen, Balkone oder Schornsteine. Abbildung 89 veranschaulicht die Anwendung des Parameters LOD. Zur Darstellung der unter-



**Abbildung 89:** Erstellung von Gebäuden in Abhängigkeit des Parameters LOD

schiedlichen Gebäudetypen (vgl. Tabelle 25) wurden prototypische Regeln erstellt, die die Einstiegsregel erweitern. Für spezielle Gebäude wie Kirchen, Supermärkte oder

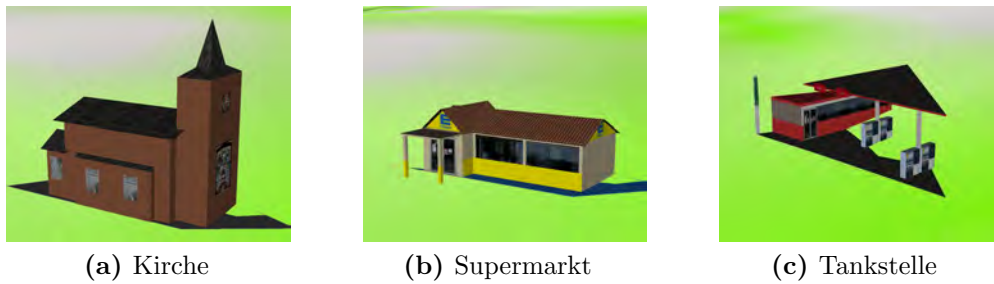
**Tabelle 25:** Regeln von Gebäudetypen und deren Eigenschaften

Gebäudeart	Eigenschaften
Haus	1–2 Etagen
Mehrfamilienhaus	3–6 Etagen / größere Grundfläche
Hochhaus	4–10 Etagen
Einzelgarage	Einzel- oder Doppelgarage
Mehrere-Garagen	Garagenreihe
Fabrik	Fabrikgelände mit LKW-Ladestationen

Tankstellen wurden ebenfalls prototypische Regeln erstellt. Diese Regeln können auch über georeferenzierte Daten gesteuert werden. In OSM-Daten gibt es die Möglichkeit, die Art des Gebäudes über den Parameter *amenity* zu steuern. Abbildung 90 zeigt prototypische Ausprägungen in Abhängigkeit des Parameters *amenity*. Für neue, spezielle Gebäude können weitere Regeln erstellt und so zusätzliche Eigenschaften der Stadt integriert werden.

### 10.3.3 Regelbasierte Straßenerstellung

Zur Erstellung der Straßen wird das bereits importierte Straßennetzwerk herangezogen. Zur Generierung der Straßen bietet City-Engine bereits einige Beispielregeln



**Abbildung 90:** Spezielle Regeln für Gebäude

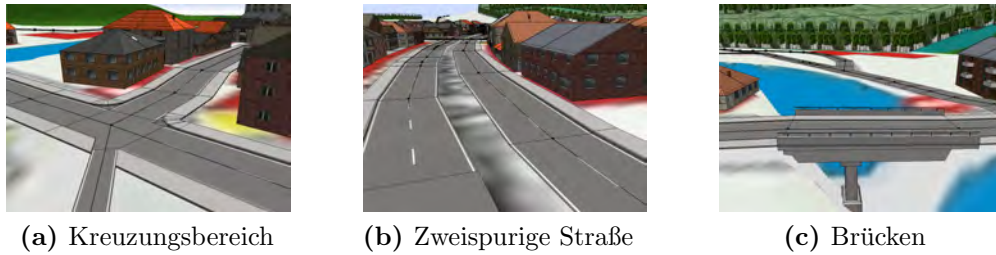
an. Diese sind allerdings auf amerikanische Verhältnisse ausgelegt und müssen entsprechend auf deutsche Verhältnisse angepasst werden. Wichtig hierbei ist vor allem die Breite der Fahrbahn (in Deutschland mindestens 5,5 m). Je nach Quelle der georeferenzierten Daten kann hier automatisiert auf die Generierung eingegangen oder manuell angepasst werden. Grundsätzlich sind die Grundmaße einer Straße abhängig von den Platzverhältnissen und der Nutzungsart. Die Fahrstreifen variieren in der Breite zwischen 2,75 m und 3,75 m. Zusätzlich sind innerhalb einer Stadt Gehwege zu beachten. Diese sollten mindestens eine Breite von 0,75 m haben.

Da bei der Verwendung von Parametern innerhalb georeferenzierter Daten keine echten Standards gelten, müssen die Regeln zur Generierung von Straßen individuell angepasst werden. Exemplarisch wird hier das Straßennetzwerk der freien Wiki-Weltkarte OpenStreetMap im Bereich der Stadt Kassel aufgeführt. In den OSM-Daten kann über den Parameter „lanes“ die Anzahl der Fahrbahnen abgefragt und umgesetzt werden. Dieser ist allerdings nicht immer vorhanden, da die Daten von der Community gepflegt werden und so die Genauigkeit und Vollständigkeit der Daten von den Nutzern abhängig ist. Sind andere Quellen verfügbar, müssen entsprechend der Beschreibung der Daten die Regeln angepasst werden.

Abbildung 91 zeigt verschiedene Beispiele der Anwendung der *Streets.cga* Regel.

### 10.3.4 Export

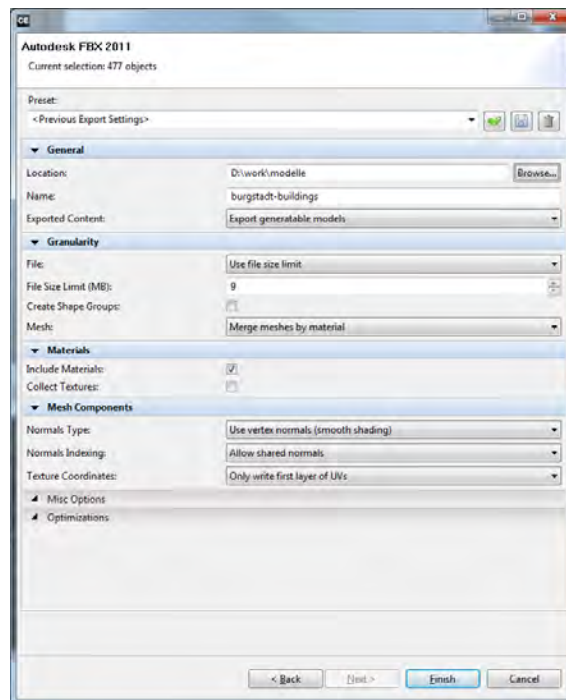
Zur Nutzung der generierten Stadt bietet sich der Export im Format FBX an. Dieses kann von den gängigen 3D-Modellierungstools bei Bedarf noch weiter verarbeitet werden. Je nach Anzahl der Objekte sollte eine Grenze der Dateigröße (Parameter *File Size Limit*) im Export-Dialog eingestellt werden, um Darstellungsprobleme in



**Abbildung 91:** Generierte Straßenbereiche mit City-Engine

der Game-Engine zu vermeiden. Unity 3D kann beispielsweise nur 65.000 Vertices pro Polygon-Netz anzeigen. Im Falle von Unity 3D hat sich der Wert 9 MB bewährt.

Zum Export von mehreren einzelnen Layern wurden Skripte zur Stapelverarbeitung geschrieben. Diese exportieren alle City-Engine-Layer in einzelne FBX-Dateien. Abbildung 92 zeigt die nötigen Einstellungsparameter zum Exportieren nach FBX.

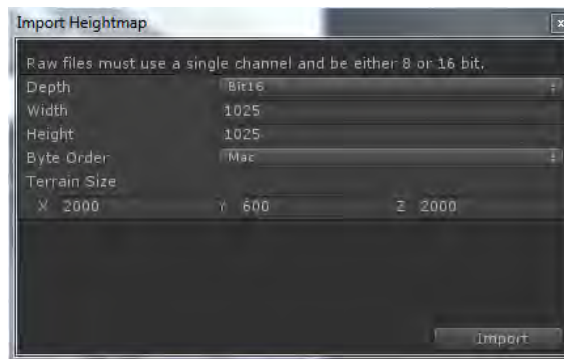


**Abbildung 92:** Einstellungen des Exportdialogs in City-Engine



## 10.4 Integration der Modelle in der Game-Engine

Zunächst muss die Höhenkarte in Unity 3D importiert werden. Über das Menü *Terrain* → *create Terrain* kann ein Terrain erstellt werden. Anschließend muss die Höhenkarte über *Terrain* → *Import Heightmap - RAW* importiert werden. Innerhalb des Benutzerdialogs (vgl. Abbildung 93) können die entsprechenden Dimensionen des Geländemodells gesetzt werden. Der Parameter Y muss hier als Spannweite von minimaler und maximaler Höhe gesehen werden. Im Anschluss an das Terrain können



**Abbildung 93:** Parameter zur Erstellung eines Terrains in Unity 3D

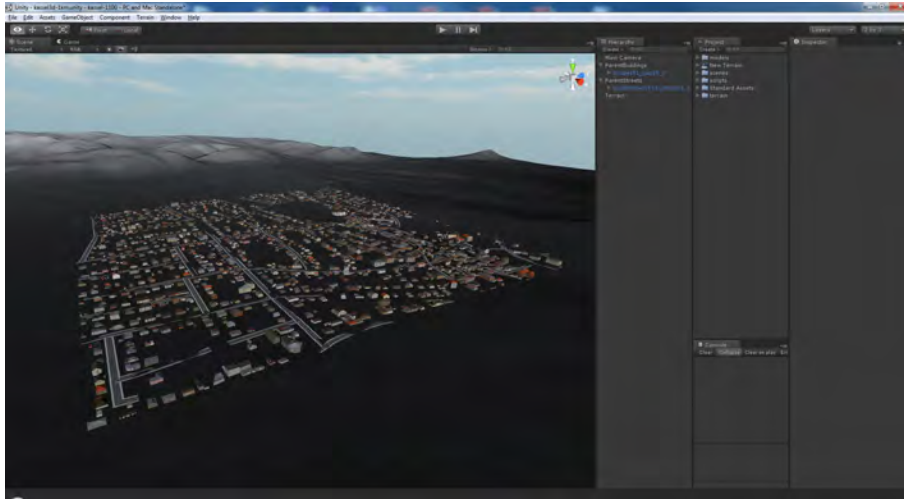
die Straßen und Gebäude importiert und der Szene hinzugefügt werden.

Die unterschiedliche Interpretation von Terrains in City-Engine und Unity 3D führt durch den in Abschnitt 10.3.4 durchgeführten Exportvorgang zu einer anderen Position der Objekte in Unity 3D. Die importierten Objekte sind um 180° entlang der Y-Achse rotiert. Da das Terrain in Unity 3D nicht rotiert werden kann, muss bei der Platzierung der Objekte ein Workaround angewendet werden. Die Erstellung eines zusätzlichen Hilfsobjekts (GameObject) in Unity 3D dient als Parent der importierten Objekte. Durch eine Rotation des Parents um -180° entlang der Y-Achse werden die importierten Objekte wieder an das Geländemodell angepasst.

Abbildung 94 zeigt exemplarisch einen mit City-Engine generierten und den vorgestellten Arbeitsschritten angepassten Quadratkilometer der Stadt Kassel.

Neben generierten Modellen können einzelne Bereiche auch mit individuellen selbst erstellten Modellen besetzt werden. Dazu sollte der Prozess bzw. Teilprozesse der Stadtgenerierung wiederholt werden, damit das generierte Stadtmodell und das Game-Engine-Modell konsistent sind. Bei Katastrophensimulationen kann so ein guter Mix zwischen tatsächlichem Spielort detailreich und Umgebung geschaffen





**Abbildung 94:** Darstellung eines km<sup>2</sup> der Stadt Kassel in Unity 3D

werden.

Der Aufwand für die Erstellung der Umgebung ist durch die vorgestellten Arbeitsschritte, im Vergleich zu herkömmlichen Modellierungstechniken, deutlich geringer. Des Weiteren können unterschiedliche Detailgrade (LOD) erstellt und so auf reale Gegebenheiten eingegangen werden. Durch die generierten Modelle kann die Vorbereitung auf mögliche Katastrophen durch Einsatzkräfte vor Ort noch realitätsnäher durchgeführt werden.

# 11 Interaktion in der virtuellen Realität

Ein wesentlicher Aspekt dieser Arbeit ist es, Abläufe in Echtzeit darzustellen und durchzuführen. Da dies bisher in den vorgestellten Lösungen weniger Beachtung fand (vgl. Kapitel 3), musste eine Lösung dafür entwickelt werden.

Das vorliegende Kapitel beschreibt die Steuerung der Avatare und den Umgang mit benutzbaren Gegenständen unter Echtzeitbedingungen. Es werden im Folgenden Varianten und Lösungen aufgezeigt, wie ein Avatar durch eine Szene navigiert werden kann. Des Weiteren wird eine Implementierung vorgestellt, um mit Gegenständen zu interagieren.

## 11.1 Steuerung und Sichtweise der Avatare

Die Steuerung der Avatare muss den in Kapitel 5 aufgestellten Anforderungen, die die Ermöglichung einer Steuerung der Avatare und den Aspekt der realistischen Wiedergabe in Echtzeit umfassen, gerecht werden.

Damit die Steuerung der Avatare die unterschiedlichen Anforderungen erfüllt, sind mehrere Varianten mit Eingabegeräten entwickelt worden. Typischerweise werden im 3D-Spielebereich eine Kombination von Maus und Tastatur oder Gamepads für die Steuerung eingesetzt. Das Konzept von Maus und Keyboard ist es, zum einen die Kamera mithilfe der Mousachsen (X- und Y-Achse) zu rotieren und zum anderen die Tastatur zum Navigieren in horizontaler und vertikaler Richtung einzusetzen. Die Navigation mit Tastatur ist üblicherweise durch die wasd- und/oder Cursor-Tasten realisiert. Auch in Unity 3D können Tastatur und Maus auf diese Weise zur Steuerung der Avatare eingesetzt werden. Die Steuerung mit einem Gamepad verläuft analog zur Maus-Tastatur-Kombination. Moderne Gamepads besitzen zwei Analogsticks

mit jeweils zwei Achsen. Ein Stick wird für die Translation, also die Bewegung in der Szene, der zweite für die Rotation der Kamera eingesetzt. Es ist somit möglich, beide Eingabegeräte zu nutzen.

Um mit diesen Eingabegeräten die notwendigen Fachbewegungen ausführen zu können, wie beispielsweise die Überprüfung der Pulsfrequenz, müssen sie extern angestoßen werden. Dazu können die aus Abschnitt 7.6 erstellten Animationen eingesetzt und wiedergegeben werden. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz einer Implementierung des IK-Algorithmus CCD (Cyclic Coordinate Descent).<sup>298</sup> Dieser Algorithmus ermöglicht es einfache Bewegungen, wie das Nehmen oder Tragen von Gegenständen, prozedural unter annähernden Echtzeitbedingungen wiederzugeben. Abbildung 95 verdeutlicht den Einsatz des IK-Algorithmus am Beispiel des Nehmens einer Kiste.



(a) Beugen



(b) Hände zur Kiste führen



(c) Aufrichten

**Abbildung 95:** Beispiel des Nehmens einer Kiste mit dem CCD-Algorithmus

Eine weitere Methode zur Durchführung von Fachbewegungen wurde durch das Active-Motioncapture-System Microsoft Kinect<sup>299</sup> erzielt. Dieses kann zur Steuerung des Avatars genutzt werden. Aufbauend auf dem Microsoft SDK und der Erweiterung

<sup>298</sup>WANG, L.C.T./CHEN, C.C.: A combined optimization method for solving the inverse kinematics problems of mechanical manipulators. In: Robotics and Automation, IEEE Transactions on, 7 1991 Nr. 4.

<sup>299</sup>MICROSOFT CORPORATION: Kinect für Xbox 360.

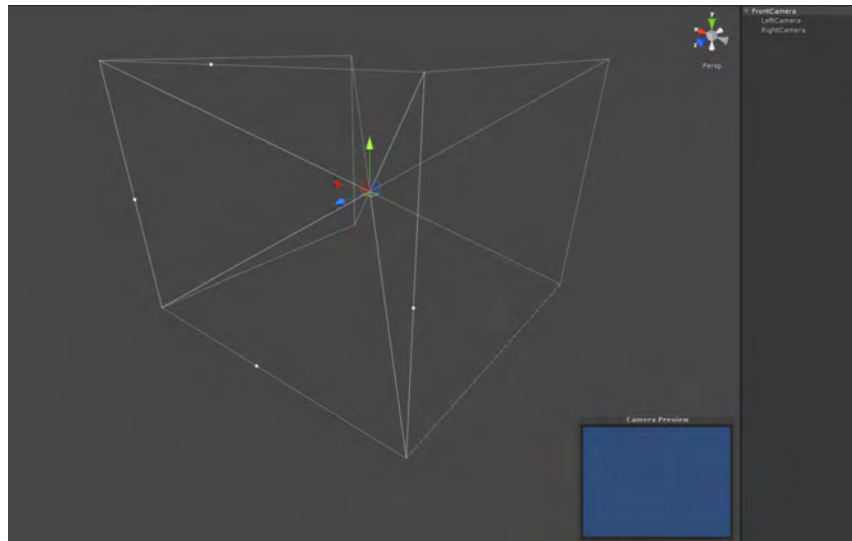
für Unity 3D kann der Spieler Bewegungen durchführen, die zeitgleich auf den Avatar in der virtuellen Realität gemappt werden. Dadurch können Bewegungen sehr realistisch wiedergegeben werden, da der Spieler eine Bewegung, beispielsweise das Ertasten des Pulses, in Realzeit durchführen muss. Auch eine Evaluierung der Bewegungen ist so möglich. Das Kamera-System ersetzt allerdings nicht die Navigation in der virtuellen Realität. Diese muss weiter mit Maus und Tastatur oder Gamepad durchgeführt werden.

Die Navigation innerhalb der Szene wird in Unity 3D über den intern bereitgestellten „Character Motor“ realisiert. Dieser erlaubt es, eine Bewegung in der Szene unter annähernd physikalisch korrekten Geschwindigkeiten durchzuführen. Die Navigationsgeschwindigkeit liegt in dem geforderten Bereich zwischen Gehen und Joggen (6–12 km/h bzw. 1,66–3,33 m/s). Durch die Steuerung über Analogstick des Gamepads kann darüber hinaus eine variable Geschwindigkeit innerhalb des geforderten Bereichs erzielt werden.

Für eine externe Steuerung wurde ein Interface generiert, über das sowohl Bewegungen als auch die Interaktion mit Gegenständen (vgl. Abschnitt 11.2) über eine Künstliche Intelligenz durchgeführt werden können. Die Umsetzung basiert dabei auf Zeichenketten bzw. Strings, damit auch externe Künstliche Intelligenzen angedockt werden können.

Die Position der Kamera bestimmt den Blick auf die Szene und somit das Gesehene Bild. Je nach Anwendung bietet es sich an, unterschiedliche Sichtweisen zu nutzen. Für die Sichtweisen auf die Simulation können unterschiedliche Einstellungen gewählt werden. Eine Vogelperspektive (Top-View) überblickt die gesamte Szene. Der Nutzer kann über die Maus eine Translation mit der Kamera durchführen. Die First-Person-Sicht gibt einen realen Blick aus den Augen des Avatars und somit des Spielers wieder. Eine Erweiterung für die First-Person-Sicht ist die Darstellung in der CasCAVE. Die Szene in der CasCAVE wird in drei Bereiche aufgeteilt (front, left und right). Auf Basis von drei Kameras werden die drei einzelnen Wände dargestellt. Abbildung 96 stellt die schematische Ausrichtung der Kameras dar. Die Kameras für die rechte und linke Wand werden mit der Vorderwand verknüpft und jeweils um 90° bzw. -90° lokal entlang der Y-Achse rotiert.

Im Gegensatz zu klassischen CAVE-Realisierungen, die normalerweise auf Frameworks auf Basis eines Netzwerks funktionieren, ist diese Lösung lokal auf einem Computer-System. Die Umsetzung basiert auf der NVIDIA Surround-Technologie



**Abbildung 96:** Schematische Darstellung der drei CasCAVE-Kameras in Unity 3D

und benötigt mindestens zwei Grafikkarten im SLI-Modus. Bei der NVIDIA Surround-Technologie wird aus drei angeschlossenen Bildschirmen ein einzelner Bildschirm, der die Auflösung entsprechend verdreifacht. Die Kameras rendern nun im Falle der CasCAVE nicht mehr den gesamten Viewport<sup>300</sup> sondern vielmehr jeder nur noch  $\frac{1}{3}$  des Viewports. Der Vorteil dieser Realisierung ist zum einen im Netzwerkverkehr zu finden, der nun nicht belastet ist und für andere Komponenten wie den Mehrspieler-Modus zur Verfügung steht. Zum anderen kann diese Lösung auch in anderen Game-Engines eingesetzt werden.

## 11.2 Interaktion mit Gegenständen

Innerhalb der Katastrophensimulation müssen die Einsatzkräfte verschiedene Ausrüstungsgegenstände benutzen. Der Ausrüstungsgegenstand wird dabei durch ein 3D-Modell repräsentiert. Die Modellierung des Ausrüstungsgegenstandes muss zur Darstellung der Funktionalität nach gewissen Richtlinien durchgeführt werden.

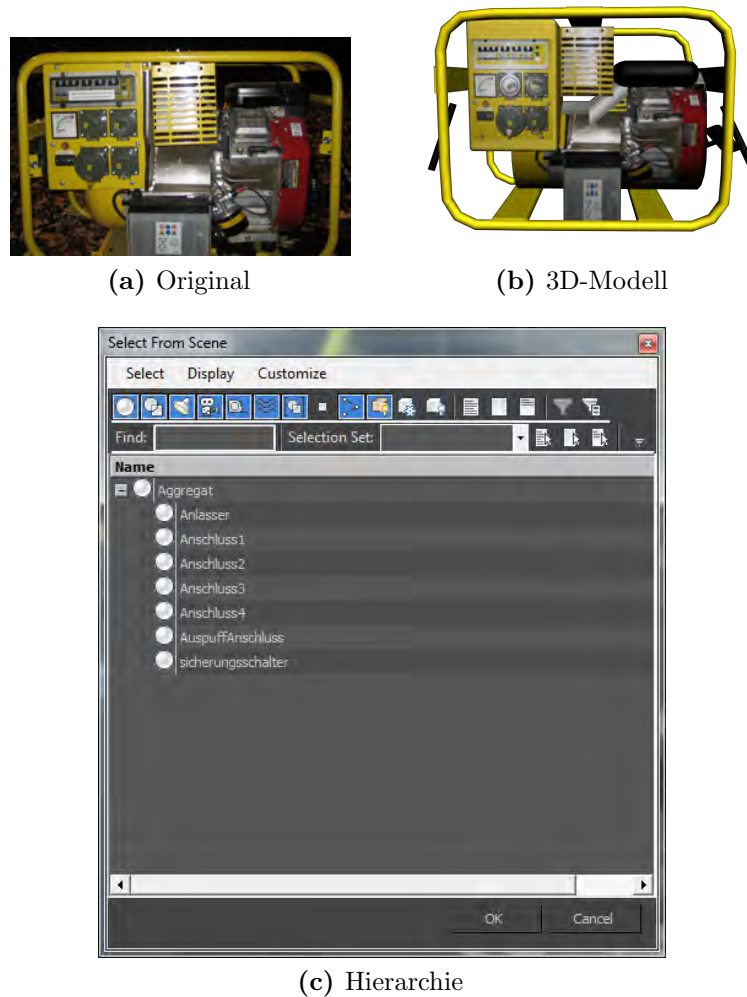
Das Polygon-Netz bzw. -Objekt repräsentiert eine oder mehrere Funktionen. Eine Funktion ist beispielsweise das Einschalten einer Handlampe. Hat ein Ausrüstungsgegenstand mehrere Funktionen, muss entschieden werden, ob die Funktion mit einem Polygon-Netz oder einer Hierarchie von Polygon-Netzen erstellt wird.

---

<sup>300</sup>Viewport: Für die Darstellung zur Verfügung stehender Bereich

Ein einzelnes Polygon-Netz ist beispielsweise bei einer oder bei mehreren besonderen Funktionen sinnvoll, die nur dieser Ausrüstungsgegenstand bereitstellt. Exemplarisch kann hier der Schaltblock eines Stromerzeugers genannt werden. Eine Hierarchie ist sinnvoll, wenn eine Funktionalität wieder verwendet werden kann. Dies ist zum Beispiel bei einer Stromkupplung der Fall. Eine Stromkupplung ist unter anderem bei einem Stromerzeuger, einem Verlängerungskabel als auch bei Verteilern zu finden. Bei der Hierarchie sollte als Mutterobjekt das Objekt mit der Hauptfunktion ausgewählt werden. Bei einem Stromerzeuger würde das 3D-Modell mit dem Schaltblock das Mutterobjekt darstellen, die Stromkupplungen entsprechend Kinder. Abbildung 97 verdeutlicht den Einsatz der Hierarchie am Beispiel des Stromerzeugers. In der Game-Engine Unity 3D werden die 3D-Modelle durch sog. GameObjects repräsentiert. Ein GameObject kann dabei auf die von der Game-Engine verfügbare Funktionalität zugreifen, beispielsweise Physik, Rendering oder Transformationen.

Für die Ausrüstungsgegenstände wurde die Funktionalität der GameObjects erweitert und angepasst. Ein zentraler Aspekt ist dabei die Wiederverwendbarkeit. Es wurden daher Templates in Form von Skripten für die Darstellung der GUI (vgl. Abbildung 98) und der in Abschnitt 5.8.1 aufgezählten Eigenschaften *nehmen*, *ablegen* und *verbinden* erzeugt. Exemplarisch wurden mit diesem Verfahren auch die in Kapitel 12 verwendeten Ausrüstungsgegenstände erstellt. Die erzeugten Skripte können als Basis-Objekt für weitere Funktionalität oder als finales Skript genutzt werden, beispielsweise bei Objekten, die nur getragen werden müssen. Die erzeugten Templates können sowohl im Einzelspieler- als auch im Mehrspieler-Modus eingesetzt werden. Um die Funktionen in der Simulation zu nutzen, müssen die Skripte zum Abschluss mit dem 3D-Modell verknüpft und die Parameter entsprechend eingestellt werden. Über die Parameter kann die Wiederverwendbarkeit der Skripte wesentlich erweitert werden. Exemplarisch kann hier der Parameter Spannung bei Stromkupplungen genannt werden, der 220 V oder 380 V annehmen kann.



**Abbildung 97:** Original und 3D-Modell eines Stromerzeugers sowie Auflistung der Hierarchie



Abbildung 98: Darstellung der GUI des Stromerzeugers





# 12 Anwendungen des Katastrophen-Trainings-Systems

Mit dem vorgestellten Katastrophen-Trainings-System wurden verschiedene Anwendungen erstellt und die Möglichkeiten des Systems aufgezeigt. In den folgenden Abschnitten werden drei Beispiele mit jeweils unterschiedlichem Kontext vorgestellt. In allen Beispielen wurde eine Umgebung mit den aus Kapitel 10 vorgestellten Arbeitsschritten geschaffen. Im Bereich der Simulation wurden darüber hinaus zusätzliche Details eingefügt.

## 12.1 Anwendung der Triage nach einem Zugunfall

Zum Trainieren des Triage-Vorgangs wurde ein fiktiver Zugunfall am Bahnübergang mit Entgleisung eines Personen-Zugs erstellt (vgl. Abbildung 99). In dem Zug befinden sich 120 Reisende. Durch die Entgleisung ist auch ein Feuer im Zug ausgebrochen.



**Abbildung 99:** Ausgangs-Lage nach Eintreffen der Einsatzkräfte

Die Spieler haben die Aufgabe den Bereich rund um Wagen 1 und 2 (vorderer Zugteil) zu erkunden und eine Sichtung der sich außerhalb des Zuges befindenden Verletzten durchzuführen. Die Simulation kann sowohl im Einzelspieler- als auch im Mehrspieler-Modus durchgeführt werden. In der Szene wurden 30 Verletzte mit den in Tabelle 26 aufgeführten Verletzungsmustern im vorderen Zugteil-Bereich platziert. Zusätzlich ist bereits ein Sammelplatz eingerichtet, an den sich gehfähige leicht Verletzte selbstständig begeben können. Anhand des START-Algorithmus kann der Spieler die notwendigen Aktionen ausführen. Die durchzuführenden Aktionen sind:

- Lage-Beurteilung
- Gehfähigkeit prüfen
- Kleidung entfernen
- Atemfrequenz prüfen
- Pulsfrequenz prüfen
- Bewusstsein prüfen
- Dokumentation
- Lagerungstherapie (optional)
- Druckverband (optional)

Abbildung 100 stellt die vorgestellten Aktionen im User-Interface dar.

Diese Anwendung ermöglicht den Einsatzkräften ein Üben von Abläufen, das in der Realität nur selten trainiert werden kann. Die Anwendung ist als Web-Anwendung konzipiert, kann allerdings auch als Standalone-Applikation installiert werden. Im Einzelspieler-Modus ermöglicht die Anwendung ein zeit- und ortsunabhängiges Lernen. Im Mehrspieler-Modus ist ein Termin für alle Teilnehmer notwendig, sodass nur ein bedingtes zeitunabhängiges Lernen möglich ist. Im Standalone-Betrieb ist ebenfalls eine Darstellung in der CasCAVE möglich. Abbildung 101 zeigt Screenshots der Anwendung während der Sichtung der Verletzten.

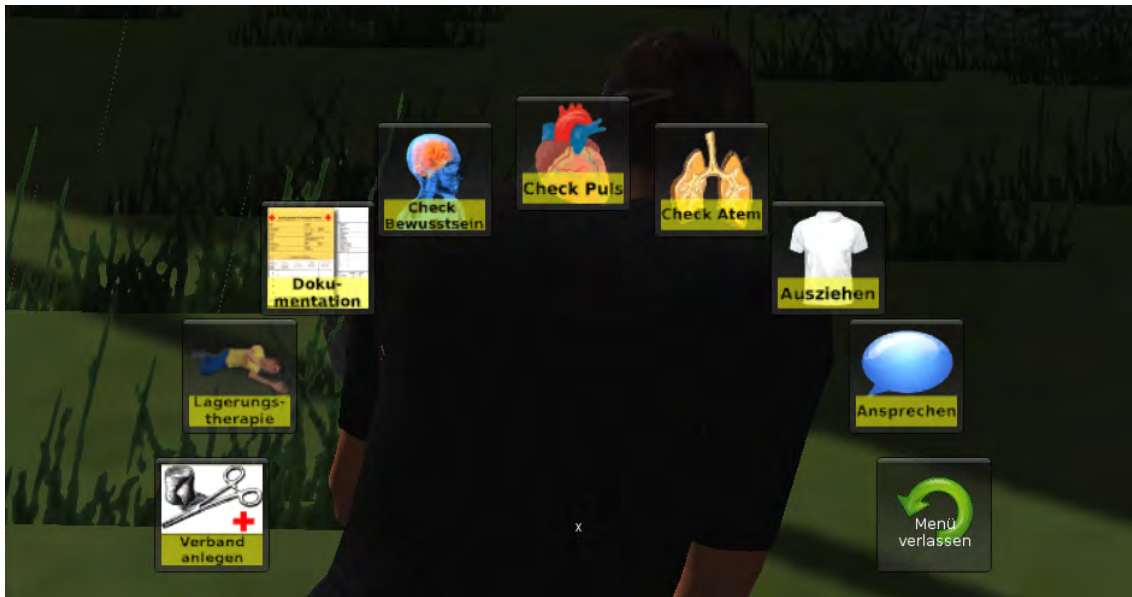


Abbildung 100: Sichtungs-Aktions-Menü

## 12.2 Zimmerbrand

Einer der häufigsten Einsätze von Feuerwehren ist der Zimmerbrand. Allein im Bundesland Hessen musste die Feuerwehr im Jahr 2010 zu 5797 Kleinbränden der Kategorie b<sup>301</sup> gerufen.<sup>302</sup>

Zur Bereitstellung der Wasserversorgung muss deshalb ein eingespieltes Team vorhanden sein, um möglichst wenig Zeit zu verlieren. Der Ablauf des Einsatzes ist daher detailliert in der FwDV 3 beschrieben.<sup>303</sup> Jede Einsatzkraft hat während des Einsatzes gewisse Aufgaben, die für die Wasserbereitstellung ausgeführt werden müssen. Die Handlungen gehen Hand-in-Hand ineinander über und verlangen gut ausgebildete Feuerwehreinsatzkräfte (vgl. dazu auch Abschnitt 3.1).

Zum Trainieren der einzelnen Aufgaben bei einer Wasserentnahme mit Bereitstellung am Unterflurhydrant wurde deshalb ein Prototyp entwickelt, in dem eine gesamte Gruppe ausgebildet werden kann. Der Kreisfeuerwehrverband Fulda stellte dazu die notwendigen Aufgaben in Form eines Drehbuchs zur Verfügung.

<sup>301</sup>Einsatz von maximal einem C-Rohr

<sup>302</sup>Vgl. HESSISCHES MINISTERIUM DES INNERN UND FÜR SPORT: Jahresbericht 2010 Brandschutz Allgemeine Hilfe Katastrophenschutz, S. 3.

<sup>303</sup>Vgl. AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHRANGELEGENHEITEN, KATASTROPHENSCHUTZ UND ZIVILE VERTEIDIGUNG (AFKzV): Feuerwehrdienstvorschriften: Einheiten im Lösch- und Hilfeleistungseinsatz: FwDV 3. Stuttgart: Deutscher Gemeindeverlag, 2008, 40 Seiten.



(a) Einsatzkraft fühlt Puls eines Verletzten

Name		Vorname	
Name	Nom	Vorname	Prénom
Siemon		Andreas	
Geburtsdatum		Sex	Religion
Date of birth		♂	Religion
Date de naissance		♀	Religion
Wohnort		Nationalität	
Residence		Nationality	
Domicile		Nationalité	
Straße		Nr. d. Erk. Marke gem. IV/24 GA	
Street		N° of identity card	
Rue		N° de pièces d'identité	
Fundort		Datum	Uhrzeit
Place of finding		Date	Time
Lieu de découverte		Date	Time
Transportziel		Verbleib	
Destination		Whereabouts	
Destination		Lieu de séjour	

1. Ausfertigung für den Suchdienst  
1<sup>st</sup> copy for tracing service - 1<sup>ère</sup> copie pour le service de recherches

Sichtung	1. Sichtung	2. Sichtung	3. Sichtung	4. Sichtung
Sighting/Triage	Uhrzeit/Name	Uhrzeit/Name	Uhrzeit/Name	Uhrzeit/Name
Category	Time/Name	Time/Name	Time/Name	Time/Name
Catégorie	Heure/Nom	Heure/Nom	Heure/Nom	Heure/Nom

(b) Einsatzkraft dokumentiert Verletzung

Abbildung 101: Sichtung und Dokumentation in der virtuellen Triage

**Tabelle 26:** Verletzungsbilder der Avatare

#	Fraktur	Wunde	Verbrennung	Vergiftung	freie Atemwege	Gehfähig
1	lUpLeg	-	-	-	j	n
2	rUpLeg	-	-	-	j	n
3	-	lUpLeg	-	-	j	n
4	-	rUpLeg	-	-	j	n
5	-	-	lUpLeg	-	j	n
6	-	-	rUpLeg	-	j	j
7	-	-	-	x	j	n
8	-	-	-	-	n	n
9	lLowArm	-	-	-	j	j
10	rLowArm	-	-	-	j	j
11	-	lLowArm	-	-	j	j
12	-	rLowArm	-	-	j	j
13	-	-	lLowArm	-	j	j
14	-	-	rLowArm	-	j	j
15	-	lUpArm	-	x	j	j
16	lLowLeg	-	-	-	n	n
17	rLowLeg	-	-	-	j	n
18	-	-	fLowBody	-	j	n
19	-	rUpArm	-	-	j	j
20	-	-	BUpBody	-	j	n
21	lLowLeg	lLowLeg	lLowLeg	x	j	n
22	-	lLowArm	lLowArm	-	j	j
23	-	rLowArm	rLowArm	-	j	j
24	-	-	Body	x	n	n
25	-	-	Body	x	j	n
26	-	-	-	-	n	n
27	-	rLowArm	-	-	j	j
28	-	lLowArm	-	-	j	j
29	lUpArm	-	-	-	j	j
30	rUpArm	-	-	-	j	j

Für die Darstellung der einzelnen Einsatzkräfte wurden die in Kapitel 7.3 erstellten Avatare eingesetzt. Zusätzlich wurden die einzelnen Funktionen innerhalb der Szene sichtbar gemacht (vgl. Abbildung 102). Jede Feuerwehreinsatzkraft übernimmt in der Simulation eine Funktion und führt die Aufgaben dieser Funktion aus. Exemplarisch kann hier die Funktion Schlauchtruppmann genannt werden. Über das Internet können die einzelnen Teilnehmer Handlungen der Avatare sehen. Auch die Kommunikation über einen Textchat wurde realisiert. Abbildung 103 zeigt aus Sicht des Wassertruppmanns die Bereitstellung mit Unterflurhydrant. Der Vorteil dieser Anwendung ist vor allem der Aspekt des ortsunabhängigen Lernens und des Vertiefens der Handlungsabläufe. Da das Trainieren der Bereitstellung eine Gruppe benötigt, müssen neun Feuerwehrleute zur Verfügung stehen. In kleinen freiwilligen Feuerwehren ist diese Anzahl aber nicht immer im Dienst vorhanden. Abhilfe können hier die Stadtfeuerwehr- bzw. Kreisfeuerwehrverbände schaffen, indem Termine für die Ausbildung angeboten werden, an denen einzelne Teilnehmer aus verschiedenen



**Abbildung 102:** Darstellung der angetretenen Feuerwehr-Gruppe mit unterstützenden Zeichen zur Visualisierung der Funktion



**Abbildung 103:** Darstellung der Bereitstellung mit Unterflurhydrant aus Sicht des Wassertruppmanns



Feuerwehren zusammenarbeiten. Abbildung 104 zeigt die entwickelte Anwendung im Mehr-Spieler-Modus.



**Abbildung 104:** Bereitstellung Unterflurhydrant im Mehr-Spieler-Modus

Eine weitere Möglichkeit ist die Interaktion in der CasCAVE. Damit kann ein noch realistischeres Training durchgeführt werden. Generell kann jede Funktion der Einsatzkräfte auch in die CasCAVE projiziert werden. Um auch das Trainieren einer ganzen Gruppe inkl. Gruppenführer zu ermöglichen, bietet sich an, dass der Gruppenführer in der CasCAVE die Position einnimmt und den Vorgang der Lagererkundung durchführt. Abbildung 105 stellt den Einsatz des Prototypen in der CasCAVE in Stereo-Projektion dar.

Der Prototyp wird im Rahmen des Projektes KATIE des Fachgebietes Technische Informatik der Universität Kassel eingesetzt und in einem Modellversuch zusammen mit dem Kreisfeuerwehrverband Fulda weiter entwickelt.

## 12.3 Ausleuchten von Einsatzstellen

Im Rahmen der Grundausbildung des Technischen Hilfswerks wurde im Ausbildungsverbund der Ortsverbände Fritzlar, Kassel, Melsungen und Wolfhagen eine E-Learning Umgebung auf Basis der Plattform moodle errichtet. Zur Unterstützung





**Abbildung 105:** Bereitstellung Unterflurhydrant in der CasCAVE in 3D-Stereo

des „Lernabschnitts 5 - Ausleuchten von Einsatzstellen“ wurde eine Anwendung erstellt, die den Aufbau einer Beleuchtung mit unabhängiger Stromversorgung beinhaltet. Bei der Anwendung sollen die Helferanwälter den Umgang mit den Geräten sowie die Handlungsabläufe zur Vorbereitung auf die Prüfung trainieren. Die Lerninhalte wurden nach der Prüfungsvorschrift THW umgesetzt.<sup>304</sup> Bei der Anwendung müssen von dem Helferanwälter verschiedene Aspekte beachtet werden:

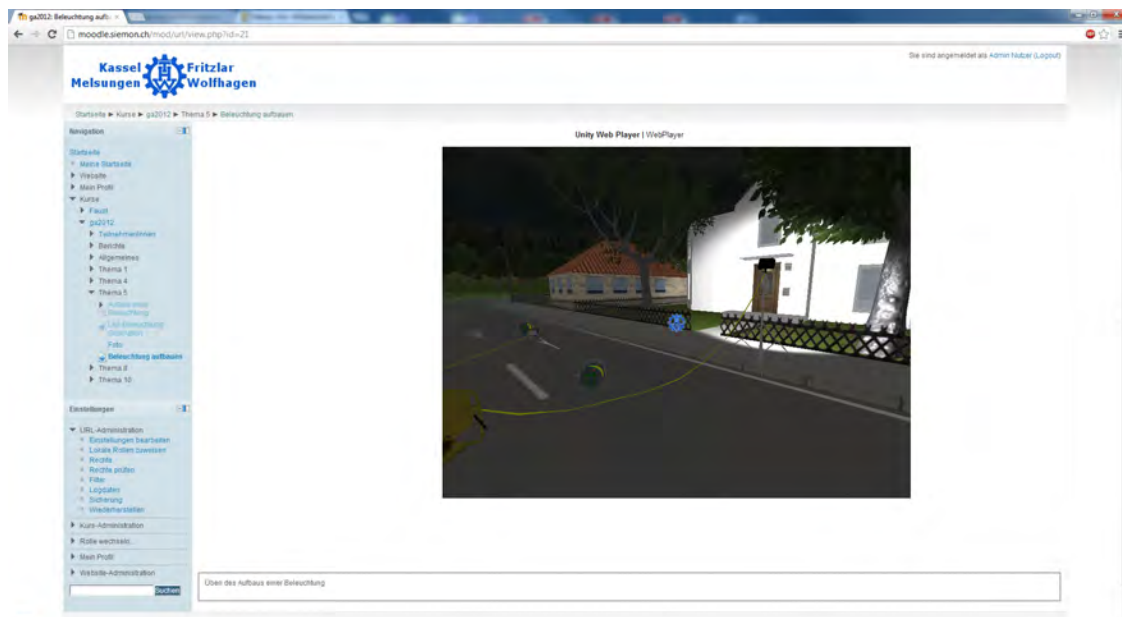
- Reihenfolge des Zusammenbaus
- Finden von geeigneten Ausleuchtungspositionen
- Schattenwurf

Das Trainieren des Aufbaus wird im Einzelspielermodus durchgeführt. Durch die Integration der Anwendung in die E-Learning-Plattform ist sie für jeden Helfer online verfügbar (vgl. Abbildung 106).

Die Vorteile dieser Anwendung als Erweiterung der realen Ausbildung sind vielfältig. Vor allem ist hier das zeit- und ortsunabhängige Lernen zu nennen. Aufgrund der eingesetzten Geräte, die zum einen sehr schwer sind und im Falle des Stromerzeugers

---

<sup>304</sup>ZENTRUM FÜR AUS- UND FORTBILDUNG (ZAF): Basisausbildung im THW Prüfungsvorschrift.



**Abbildung 106:** Ausleuchten einer Einsatzstelle integriert in die E-Learning-Plattform

nur mit mehreren Personen getragen werden müssen, kommt hier eine Abhängigkeit von anderen Personen bzw. Helfern nicht zum Tragen. Zusätzlich sind die Geräte auf dem Fahrzeug verlastet, das nur durch ausgebildete Fahrer bewegt werden darf. Ein Helferanwärter gehört allerdings nicht zu den Berechtigten.



# **Teil III**

## **Resümee**



# 13 Zusammenfassung und Ausblick

## 13.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen der Arbeit wurde ein System entwickelt, mit dem Avatare als Stellvertreter der Beteiligten einer Katastrophe in eine Simulation eingebunden werden können. Ein Schwerpunkt dieser Arbeit wurde auf die Entwicklung eines Vitalsystems gelegt. Dieses bildet nicht ein medizinisch korrektes und ganzheitliches Vitalsystem ab, sondern reagiert auf verschiedene Verletzungen und berechnet die dafür anzunehmenden Vitalparameter. Generell sind solche Systeme nicht neu. Das Kapitel Stand der Technik hat gezeigt, dass im Bereich Katastrophensimulationen einige Forschungen unternommen wurden und Programme existieren, die eine Simulation durchführen. Der Fokus dieser Anwendungen liegt allerdings meist in anderen Bereichen, weshalb oft nur Teilprobleme gelöst werden können. In der Praxis sind außerdem selten konkrete Implementierungen verfügbar, sodass eine neue Implementierung erfolgen musste.

Die grundlegende Idee der vorliegenden Arbeit war es, so weit wie möglich vorhandene Komponenten und Software-Lösungen zu einem Gesamtsystem zu kombinieren. Hierzu wurden Konzepte und Lösungen erarbeitet, die eine Kombination ermöglichen.

Insgesamt wurden für die Abbildung der Beteiligten einer Katastrophe in eine Simulation drei große Bereiche identifiziert:

- Entwicklung eines Vitalsystems
- Erstellung von verletzten Avataren
- Erstellung von virtuellen Welten und Interaktion innerhalb dieser

Prinzipiell basiert die Entwicklung des Vitalsystems auf einer Interpolation zwischen minimalen und maximalen Vitalwerten. Je nach Stärke einer Verletzung werden

diese entsprechend verändert. Ein wichtiger Faktor ist die Zeit, die die Verletzungen und somit das Vitalsystem beeinflusst. Aufgrund der Vielzahl an Faktoren, die einen Menschen beeinflussen, wurde hier stark verallgemeinert. Jegliche Vorerkrankungen werden nicht berücksichtigt. Zur Sichtung ist dies auch nicht notwendig, da mit diesem Modell keine Sanitäter oder Notärzte ausgebildet, sondern vielmehr die Handlungsabläufe der Triage trainiert werden sollen. Eine Erweiterung des Modells ist aber auch für diesen Bereich möglich.

Zur Darstellung von verletzten Avataren wurden spezielle Tools analysiert und Arbeitsprozesse aufgezeigt, wie dieser Problembereich, die effiziente Erstellung von verletzten Avataren, gelöst werden kann. Zusätzlich wurden die Prozesse in der BPMN Notation dokumentiert, sodass eine einheitliche und geordnete Erstellung von weiteren Avataren möglich ist. Hier wurde auch der Aspekt der Wartbarkeit beachtet und das Format Autodesk FBX zur Interoperabilität genutzt. Dieses ist vor allem im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen sinnvoll, da dieses Format der De-facto-Standard im 3D-Bereich ist und alle gängigen 3D-Modellierungstools für dieses Format Im- und Exporter bereitstellen. Der vorgestellte Prozess ist effektiv und kosteneffizient, da ein zu parametrisierender Basis-Avatar in verschiedenen Detailstufen zur Verfügung steht und durch den Einsatz von MakeHuman keine Lizenzkosten für die Nutzung von Avataren anfallen.<sup>305</sup> Die vorgeschlagenen Arbeitsschritte haben gezeigt, dass eine Simulation von ca. 300 Avataren in einer virtuellen Welt mit handelsüblichen Computersystemen möglich ist. Durch die Entwicklung immer performanterer Grafikkarten ist davon auszugehen, dass auch 500 Verletzte oder mehr in Zukunft darstellbar sind.

Der dritte Bereich, die Erstellung von virtuellen Welten mithilfe georeferenzierter Daten und Interaktion innerhalb dieser, ist eine wirkliche Neuerung und es gibt sie so in keiner Katastrophensimulation. Bei der Erstellung von virtuellen Welten auf Basis von georeferenzierten Daten wurden Arbeitsprozesse etabliert, um möglichst effizient und kostengünstig Orte auf Basis realer Daten zu generieren. Gerade bei der Schulung von Einsatzkräften über Gefahren vor Ort kann so im Ernstfall Zeit gespart werden, weil beispielsweise Wege zum möglichen Einsatzort oder das Gelände bekannt sind. Die örtlichen Einsatzkräfte sind so für den Ernstfall besser gerüstet. Weiterhin wurden neue Technologien zur Steuerung der Avatare in der virtuellen

---

<sup>305</sup>MAKEHUMAN TEAM: Licensing. [URL: https://sites.google.com/site/makehumandocs/licensing](https://sites.google.com/site/makehumandocs/licensing) – Zugriff am 28.04.2011.

Welt integriert.

Durch die Integration der Simulationen in die E-Learning-Umgebung moodle konnten neue didaktische Konzepte realisiert und umgesetzt werden. Der Prototyp des Beleuchtungsaufbaus hat sich als gute Übungsmöglichkeit für die THW-Helferanwärter bewährt. Hier würden weitere Lernabschnitte Sinn machen, um noch mehr virtuelle Übungsmöglichkeiten zu schaffen. Leider hat sich bei manchen Organisationen auch gezeigt, dass teilweise die Bereitschaft neue Technologien in die Ausbildung zu integrieren noch ausbaufähig ist.

Insgesamt wurde ein System entwickelt, welches die Erstellung der Beteiligten einer Katastrophe als virtuelle Abbilder in Form von Avataren sowie die Erstellung einer virtuellen Welt auf Basis realer Daten und Interaktion in dieser abdeckt. Auch eine Darstellung in der CasCAVE wurde mit diesem System realisiert. Mit dem System können verschiedene Aspekte zur Bewältigung der Katastrophe in einer Simulation trainiert werden. Des Weiteren wurde der Nachweis erbracht, dass das System die Ausbildung von Einsatzkräften ergänzen und verbessern kann. Die Einheiten haben so noch mehr Möglichkeiten, die Ausbildung attraktiver zu gestalten und so zum einen Nachwuchs zu gewinnen und zum anderen der aktuellen Mannschaft weitere Perspektiven und Innovationen aufzuzeigen.

## 13.2 Ausblick

Eine Herausforderung des Katastrophen-Trainings-Systems war das interdisziplinäre Anwendungsgebiet. Es mussten medizinische Hintergründe erarbeitet und in die 3D-Welt übertragen werden. Gerade bei der Implementierung von Algorithmen des Vitalsystems können Verbesserungen erzielt werden, indem Daten ausgewertet und genauere Algorithmen entwickelt werden. Ein erstes Projekt, welches für diesen Zweck genutzt werden kann, ist die VictimBase Datenbank, in der verschiedene Organisationen Daten von Patienten sammeln.<sup>306</sup> Eine Vorbereitung zur Nutzung dieser Daten ist bereits implementiert.

Das Potenzial der Software MakeHuman ist immens. Das Open-Source-Projekt entwickelt ständig weitere Funktionen und ergänzt fortwährend das Leistungsspektrum der Software. Die Verzahnung mit dem 3D-Modellierungstool Blender bedeutet

---

<sup>306</sup>EMDM ACADEMY: VictimBase - Home. (URL: <http://public.victimbase.org/>) – Zugriff am 15.10.2012.



einen kosteneffizienten Weg, der sicherlich auch für weitere andere Projekte genutzt werden kann. Die hier vorgestellten Arbeitsschritte könnten durch eine zusätzliche zu programmierende Erweiterung automatisiert werden, um so noch schneller die gewünschten Ergebnisse zu erhalten.

Auch die Erstellung von virtuellen Welten kann weiter ausgebaut werden. Hier bietet sich die Integration von CityGML-Daten an, die aktuell von Großstädten aufgezeichnet werden. Momentan ist dies noch nicht praktikabel, da die Auflösung der CityGML-Daten für eine freie Navigation in der Szene zu verpixelt sind.

Das Aussehen der 3D-Welt und der einzelnen 3D-Modelle beeinflusst zu einem Teil die Akzeptanz der Software. Die bisher gezeigten Prozesse und Prototypen wurden alle auf Basis technischer Möglichkeiten entwickelt. Vielmehr müssten hier auch professionelle 3D-Content-Designer und -Animateure eingesetzt werden, um optimale Ergebnisse zu erzielen. Vergleicht man die hier aufgezeigten technischen Verfahren mit den Prozessketten und der eingesetzten „Man-Power“ in modernen Game-Entwickler- bzw. Animationsstudios wird schnell klar, dass hier noch Potenzial bei der Gestaltung der Avatare vorhanden ist.

Weitere Verbesserungsmöglichkeiten bietet auch das User-Interface. Dieses wurde bisher nur prototypisch umgesetzt und bedarf einer weiteren Aufbereitung. Wichtig hierbei sind die Anwender, die im Falle von Einsatzkräften einer Katastrophenorganisation ein Abbild der Gesellschaft sind und so nicht nur unterschiedliche Altersgruppen, sondern auch verschiedene Bildungsstufen, Berufe und Fähigkeiten repräsentieren.

Um auch zeitunabhängig alleine Handlungen mit mehreren Personen in der virtuellen Realität zu trainieren, ist der Einsatz einer Künstlichen Intelligenz notwendig. Das hier vorgestellte Interface stellt die entwickelte Funktionalität zum Interagieren mit Ausrüstungsgegenständen zur Verfügung. Dieses ist allerdings für einen reibungslosen Ablauf noch nicht ausreichend. Hier ist es sicherlich denkbar, Sensor-Systeme, Path-Finding Algorithmen und/oder Multi-Agenten-Systeme einzusetzen.

Mit dem vorgestellten Katastrophen-Trainings-System wurde ein Basis-System entwickelt, welches um eine Vielzahl an Optionen erweiterbar ist und das neue Möglichkeiten der Ausbildung von Einsatzkräften bietet. Auf Basis dieses Systems ist es demnach zukünftig möglich, einfach und zielgerichtet entsprechende Lehrmodelle weiterzuentwickeln.

# Literaturverzeichnis

- 21st Century Solutions Ltd.:** 3d models. [URL: http://www.3-d-models.com/](http://www.3-d-models.com/) – Zugriff am 16.04.2010
- 3DRT:** 3DRT - Buy 3D models: game-ready lowpoly 3d characters, vehicles, levels, game packs. [URL: http://www.3drt.com/](http://www.3drt.com/) – Zugriff am 16.04.2010
- Adams, H. et al.:** Stellungnahme der Sektion „Schock“ der DIVI zur Schocklage. In: Notarzt, 28 2012, 12–16
- Adobe Systems Incorporated:** Adobe Photoshop CS6. [URL: http://www.adobe.com/de/products/photoshop.html](http://www.adobe.com/de/products/photoshop.html) – Zugriff am 20.02.2012
- Advanced Micro Devices, Inc.:** Grafikkarte AMD Radeon™ HD 6950 - Technische Daten. 2012 [URL: http://www.amd.com/de/products/desktop/graphics/amd-radeon-hd-6000/hd-6950/Pages/amd-radeon-hd-6950-overview.aspx](http://www.amd.com/de/products/desktop/graphics/amd-radeon-hd-6000/hd-6950/Pages/amd-radeon-hd-6950-overview.aspx) – Zugriff am 31.05.2012
- Aken, H. et al.:** Intensivmedizin. 2. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2007
- Andreae, Susanne:** Gesundheits- und Krankenpflege: EXPRESS Pflegewissen. Stuttgart: Thieme, 2009, EXPRESS Pflegewissen
- Andreatta, P.B. et al.:** Virtual Reality Triage Training Provides a Viable Solution for Disaster-preparedness. In: Academic Emergency Medicine, 17 2010 Nr. 8, 870–876
- Apple Inc.:** Apple - Das neue iPad. [URL: http://www.apple.com/de/ipad/](http://www.apple.com/de/ipad/) – Zugriff am 06.06.2012
- Applied Research Associates, Inc.:** HumanSim. [URL: http://www.virtualheroes.com/healthcare.asp](http://www.virtualheroes.com/healthcare.asp) – Zugriff am 13.06.2012

**Arnaud Couturier:** Suicidator City Generator.  $\langle$ URL: <http://cgchan.com/suicidator> $\rangle$  – Zugriff am 27.04.2011

**Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung (AFKzV):** Feuerwehrdienstvorschriften: Einheiten im Lösch- und Hilfeleistungseinsatz: FwDV 3. Stuttgart: Deutscher Gemeindeverlag, 2008, 40 Seiten

**Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung (AFKzV):** Feuerwehrdienstvorschriften: Ausbildung der Freiwilligen Feuerwehren: FwDV 2. Stuttgart: Deutscher Gemeindeverlag, 2012, 91 Seiten

**Autodesk Inc.:** Autodesk 3ds Max-Produkte.  $\langle$ URL: <http://www.autodesk.de/3dsmax> $\rangle$  – Zugriff am 01.06.2011

**Autodesk Inc.:** Autodesk FBX.  $\langle$ URL: <http://www.autodesk.de/fbx> $\rangle$  – Zugriff am 01.06.2011

**Autodesk Inc.:** Autodesk Infrastructure Modeler.  $\langle$ URL: <http://www.autodesk.com/infrastructure-modeler> $\rangle$  – Zugriff am 25.10.2011

**Autodesk Inc.:** Autodesk Maya.  $\langle$ URL: <http://www.autodesk.de/maya> $\rangle$  – Zugriff am 01.06.2011

**Autodesk Inc.:** Autodesk MotionBuilder.  $\langle$ URL: <http://www.autodesk.de/motionbuilder> $\rangle$  – Zugriff am 01.06.2011

**Back, A. et al.:** Lexikon Der Wirtschaftsinformatik. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2001

**Backlund, Per et al.:** Sidh - a Game Based Firefighter Training Simulation. In: International Conference Information Visualisation, 11 2007, 899–907, ISSN 1550–6037

**Baenkler, Hanns-Wolf:** Innere Medizin. Sonderausgabe Auflage. Stuttgart: Thieme, 2001

- Barmeyer, Jürgen:** Das kardiologische Gutachten: Anleitungen zur differenzierten Begutachtung bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen. 2. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2010
- Blender Foundation:** Features & Gallery. ⟨URL: <http://www.blender.org/features-gallery/>⟩ – Zugriff am 01.06.2011
- Blitz Games Studios Ltd.:** Case Study - Triage Trainer. ⟨URL: <http://www.trusim.com/?page=CaseStudy>⟩ – Zugriff am 02.05.2010
- BMBF-Verbundprojekt VoTeKK:** VoTeKK - Vorbereitung auf Terroranschläge, Krisen und Katastrophen. ⟨URL: <http://www.votekk.de/>⟩ – Zugriff am 1.10.2012
- Boston Dynamics:** DI-Guy. ⟨URL: <http://www.diguy.com/diguy/>⟩ – Zugriff am 23.09.2009
- Browsergames.de:** Tour Golf Online: 'Next-Gen' Online-Golfspiel für 2012 angekündigt. ⟨URL: <http://tour-golf-online.browsergames.de/news/3075/1/tour-golf-online-next-gen-online-golfspiel-fuer-2012-angekuendigt.html>⟩ – Zugriff am 02.06.2012
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe:** Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. ⟨URL: <http://www.bbk.bund.de/>⟩ – Zugriff am 03.05.2011
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe:** Glossar: Katastrophenfall. ⟨URL: [http://www.bbk.bund.de/DE/Servicefunktionen/Glossar/\\_function/glossar.html?lv2=1899384&lv3=1956356](http://www.bbk.bund.de/DE/Servicefunktionen/Glossar/_function/glossar.html?lv2=1899384&lv3=1956356)⟩ – Zugriff am 28.08.2012
- Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW):** Bundesanstalt THW. ⟨URL: [http://www.thw.de/DE/THW/Bundesanstalt/bundesanstalt\\_node.html](http://www.thw.de/DE/THW/Bundesanstalt/bundesanstalt_node.html)⟩ – Zugriff am 03.04.2011
- Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW):** E-Learning als eine Säule der Ausbildung im THW. ⟨URL: <http://176.9.38.205/lernsystem/>⟩



- Christopher M. Kohlhoff:** boost Examples.  $\langle$ URL: [http://www.boost.org/doc/libs/1\\_38\\_0/doc/html/boost\\_asio/examples.html](http://www.boost.org/doc/libs/1_38_0/doc/html/boost_asio/examples.html) $\rangle$  – Zugriff am 26.09.2010
- Corti, Kevin:** Serious Games. In: Learning Magazine, 1 2005, 6–7  $\langle$ URL: [http://www.pixelearning.com/docs/pdfs/wolce\\_learning\\_mag.pdf](http://www.pixelearning.com/docs/pdfs/wolce_learning_mag.pdf) $\rangle$
- Craig, John J.:** Introduction to robotics: mechanics and control. 3. Auflage. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2005
- crydev.net:** Technical Documentation.  $\langle$ URL: <http://freesdk.crydev.net/display/SDKDOC4/Home> $\rangle$  – Zugriff am 02.06.2012
- crydev.net:** Wiki Terminology.  $\langle$ URL: <http://www.crydev.net/wiki/index.php/Terminology> $\rangle$  – Zugriff am 02.06.2012
- Crytek GmbH:** CryEngine - Technology - Overview.  $\langle$ URL: <http://mycryengine.com/index.php?conid=2> $\rangle$  – Zugriff am 02.06.2012
- Crytek GmbH:** Crytek MyCryEngine.  $\langle$ URL: <http://mycryengine.com/> $\rangle$  – Zugriff am 02.06.2012
- Dave Abrahams:** Boost Python.  $\langle$ URL: [http://www.boost.org/doc/libs/1\\_38\\_0/libs/python/doc/index.html](http://www.boost.org/doc/libs/1_38_0/libs/python/doc/index.html) $\rangle$  – Zugriff am 21.11.2010
- DAZ Productions:** DAZ 3D Shop.  $\langle$ URL: <http://www.3-d-models.com/> $\rangle$  – Zugriff am 16.04.2010
- DeLoura, M./DeLoura, M.A.:** Game Programming Gems. Rockland, Mass.: Charles River Media, 2000
- DeLoura, Mark:** Game Engine Survey 2011. In: Game Developer Magazine, 05 2011, 7–12
- Desmecht Laurent/Loic Dachary:** Cal3D - 3D character animation library.  $\langle$ URL: <http://gna.org/projects/cal3d/> $\rangle$  – Zugriff am 01.06.2011
- Deutsche Hochdruckliga e.V.:** Behandlung der arteriellen Hypertonie.  $\langle$ URL: [http://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/046-001\\_S2\\_](http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/046-001_S2_) $\rangle$

- Behandlung\_der\_arteriellen\_Hypertonie\_06-2008\_06-2013.pdf) – Zugriff am 15.05.2010
- Deutscher Computerspielpreis:** Preisträger 2012. [⟨URL: http://www.deutscher-computerspielpreis.de/164.0.html⟩](http://www.deutscher-computerspielpreis.de/164.0.html) – Zugriff am 20.05.2012
- Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH:** The MARY Text-to-Speech System. [⟨URL: http://mary.dfki.de/⟩](http://mary.dfki.de/) – Zugriff am 07.01.2011
- Deutsches Rotes Kreuz Bezirksverband Frankfurt e.V.:** SOGRO (SOfortrettung bei GROßunfall). [⟨URL: http://www.sogro.de/⟩](http://www.sogro.de/) – Zugriff am 21.08.2012
- Deutsches Rotes Kreuz e.V. (Hrsg.):** Notfalldarstellung für Lehrkräfte im DRK: Lehrunterlage und Medienpaket (Version 1.0). 1. Auflage. Berlin: Deutsches Rotes Kreuz e.V., 2009
- Deutsches Rotes Kreuz Kreisverband Kassel-Wolfhagen e.V.:** Notfalldarstellung. [⟨URL: http://www.drk-kassel.de/einsatzdienste/notfalldarstellung⟩](http://www.drk-kassel.de/einsatzdienste/notfalldarstellung) – Zugriff am 15.01.2012
- Devmaster.net:** Engines. [⟨URL: http://devmaster.net/devdb/engines⟩](http://devmaster.net/devdb/engines) – Zugriff am 02.06.2012
- Devmaster.net:** Unity. [⟨URL: http://devmaster.net/devdb/engines/unity⟩](http://devmaster.net/devdb/engines/unity) – Zugriff am 02.06.2012
- Devmaster.net:** Unreal Development Kit (UDK). [⟨URL: http://devmaster.net/devdb/engines/unreal-development-kit-udk⟩](http://devmaster.net/devdb/engines/unreal-development-kit-udk) – Zugriff am 02.06.2012
- Di-O-Matic, Inc.:** Facial Studio - Overview. [⟨URL: http://www.di-o-matic.com/products/plugins/FacialStudio/⟩](http://www.di-o-matic.com/products/plugins/FacialStudio/) – Zugriff am 20.10.2010
- Didderen, E./Van Wijngaarden, M./Kobes, M.:** Emergency Team Training in Virtual Reality. An Evaluation of the Design Process and of the Performances of NIFV-ADMSTM in Training Sessions. Emergency. In: Journal of Information Processing, 6 2009, 1–9

- Dörner, K.:** Klinische Chemie und Hämatologie: Taschenlehrbuch. 7. Auflage. Stuttgart [u.a.]: Thieme, 2009, Thieme Flexible Taschenbücher
- Dosch Design GmbH:** Dosch Design - 3D Modelle, Texturen, HDRI, Musik & Animationen. [⟨URL: http://www.doschdesign.com⟩](http://www.doschdesign.com) – Zugriff am 20.05.2011
- DRK - Service GmbH Nottuln/Sophus Medical:** resus sim prehospital. [⟨URL: http://www.engel-city.de/ersthelfer/Multimedia/resus\\_sim\\_prehospital/body\\_resus\\_sim\\_prehospital.html⟩](http://www.engel-city.de/ersthelfer/Multimedia/resus_sim_prehospital/body_resus_sim_prehospital.html) – Zugriff am 23.10.2011
- DRK-Landesverband Baden-Württemberg e.V. :** Rettungsdienstliches Positionspapier. [⟨URL: http://www.drk-baden-wuerttemberg.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/2012-03-08\\_rd\\_positionspapier\\_drklvw.pdf⟩](http://www.drk-baden-wuerttemberg.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/2012-03-08_rd_positionspapier_drklvw.pdf) – Zugriff am 20.04.2012
- E-Semble bv:** Virtual training at the site of an incident. [⟨URL: http://www.e-semble.com/xvr/index.php?t=uk⟩](http://www.e-semble.com/xvr/index.php?t=uk) – Zugriff am 23.09.2009
- Eclipse Foundation:** Eclipse. [⟨URL: http://eclipse.org/⟩](http://eclipse.org/) – Zugriff am 13.10.2010
- Ekman, P./Friesen, W.V./Hager, J.C.:** The Facial Action Coding System. 2. Auflage. London: Weidenfeld & Nicolson, 2002
- Ellinger, K.:** Kursbuch Notfallmedizin: Orientiert am bundeseinheitlichen Curriculum Zusatzbezeichnung Notfallmedizin. 2. Auflage. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 2011
- EMDM Academy:** VictimBase - Home. [⟨URL: http://public.victimbase.org/⟩](http://public.victimbase.org/) – Zugriff am 15.10.2012
- Environmental Tectonics Corporation:** ADMS Command. [⟨URL: http://www.trainingfordisastermanagement.com/products/training-incident-command-and-disaster-management/⟩](http://www.trainingfordisastermanagement.com/products/training-incident-command-and-disaster-management/) – Zugriff am 01.06.2011
- Epic Games, Inc.:** Game Engine Technology by Unreal. [⟨URL: http://www.unrealengine.com/⟩](http://www.unrealengine.com/) – Zugriff am 02.06.2012



- Epic Games, Inc.:** Unreal Developer Network.  $\langle$ URL: <http://udn.epicgames.com/Main/WebHome.html> $\rangle$  – Zugriff am 02.06.2012
- Epic Games, Inc.:** Unreal Engine 3 Game Development Tools.  $\langle$ URL: <http://www.unrealengine.com/features> $\rangle$  – Zugriff am 02.06.2012
- Epic Games, Inc.:** Video Game Engine Showcase.  $\langle$ URL: <http://www.unrealengine.com/showcase/> $\rangle$  – Zugriff am 02.06.2012
- Erdmann, Erland:** Klinische Kardiologie: Krankheiten des Herzens, des Kreislaufs und der herznahen Gefäße. 8. Auflage. Heidelberg: Springer Medizin, 2011, SpringerLink : Bücher
- Eric Johnson:** Delta 3D - Features.  $\langle$ URL: <http://www.delta3d.org/article.php?story=20051209133127695&topic=docs> $\rangle$  – Zugriff am 02.06.2012
- Eric Johnson:** Delta 3D - Open Source Gaming & Simulation Engine .  $\langle$ URL: <http://delta3d.org/> $\rangle$  – Zugriff am 02.06.2012
- Eric Johnson:** Delta 3D - What is Simulation Core?  $\langle$ URL: <http://www.delta3d.org/article.php?story=20090818163549896&topic=news> $\rangle$  – Zugriff am 30.01.2011
- ESRI:** Esri CityEngine - 3D Modeling Software for Urban Environments.  $\langle$ URL: <http://www.esri.com/software/cityengine/index.html> $\rangle$  – Zugriff am 24.07.2011
- Evenden, Gerald:** PROJ.4 - Cartographic Projections Library.  $\langle$ URL: <http://trac.osgeo.org/proj/> $\rangle$  – Zugriff am 11.08.2012
- Feuerwehr- und Katastrophenschutzschule Rheinland-Pfalz:** Lernzielkatalog mittlerer feuerwehrtechnischer Dienst.  $\langle$ URL: [http://internet.lfks-rlp.de/fileadmin/user\\_upload/Redakteur/downloads/dven/fwdv/Lernzielkatalog\\_mD.pdf](http://internet.lfks-rlp.de/fileadmin/user_upload/Redakteur/downloads/dven/fwdv/Lernzielkatalog_mD.pdf) $\rangle$  – Zugriff am 22.04.2011
- Feuerwehr- und Katastrophenschutzschule Rheinland-Pfalz:** SAFER.  $\langle$ URL: <http://internet.lfks-rlp.de/index.php?id=425> $\rangle$  – Zugriff am 08.10.2011

- Feuerwehr und Rettungsdienst Landeshauptstadt Düsseldorf:** Flughafenbrand Düsseldorf 11. April 1996. [URL: http://www.duesseldorf.de/feuerwehr/pdf/alle/flughbrand.pdf](http://www.duesseldorf.de/feuerwehr/pdf/alle/flughbrand.pdf) – Zugriff am 01.11.2011
- FIT, Fraunhofer:** Firesim. [URL: http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2012/january/simulating-firefighting-op.html](http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2012/january/simulating-firefighting-op.html) – Zugriff am 13.02.2012
- Flavell, L.:** Beginning Blender: Open Source 3D Modeling, Animation, and Game Design. New York: Apress, 2010, Apress Series
- Frank, Gernold:** Game-Based Learning - Darf Lernen auch Spaß machen? In: **Metz, Maren/Theis, Fabienne (Hrsg.):** Digitale Lernwelt - SERIOUS GAMES: Einsatz in der beruflichen Weiterbildung. 1. Auflage. Bielefeld: Bertelsmann, 2011, 53–63
- Füeßl, Hermann Sebastian:** Innere Medizin in Frage und Antwort. 8. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2004, Basiswissen Pflege
- Ganz, A. et al.:** DIORAMA: Dynamic information collection and resource tracking architecture. In: Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE. Buenos Aires, Argentina, 2010, 386–389
- Garner, Alan et al.:** Comparative analysis of multiple-casualty incident triage algorithms. In: Annals of Emergency Medicine, 38 2001 Nr. 5, 541–548 [URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196064401410675](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196064401410675)
- Geodata Discovery Working Group:** The Open Source Geospatial Foundation. [URL: http://www.osgeo.org](http://www.osgeo.org) – Zugriff am 12.05.2012
- Google:** Google Earth. [URL: http://www.google.de/intl/de/earth/index.html](http://www.google.de/intl/de/earth/index.html) – Zugriff am 12.05.2012
- Gorgaß, B. et al.:** Rettungsassistent und Rettungssanitäter. 7. Auflage. Berlin [u.a.]: Springer, 2005
- Götz-Neumann, Kirsten:** Gehen verstehen: Ganganalyse in der Physiotherapie. 2. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2006

- Harbour, J.S.:** Beginning Game Programming. 3. Auflage. Boston, Mass.: Course Technology, 2009
- Hessisches Ministerium des Innern und für Sport:** Jahresbericht 2010 Brandschutz Allgemeine Hilfe Katastrophenschutz. [http://www.hmdis.hessen.de/irj/servlet/prt/portal/prtroot/slimp.CMReader/HMdI\\_15/HMdI\\_Internet/med/51b/51b40673-73f9-7c21-79cd-aae2389e4818,22222222-2222-2222-2222-222222222222,true](http://www.hmdis.hessen.de/irj/servlet/prt/portal/prtroot/slimp.CMReader/HMdI_15/HMdI_Internet/med/51b/51b40673-73f9-7c21-79cd-aae2389e4818,22222222-2222-2222-2222-222222222222,true) – Zugriff am 13.03.2012
- Hintzenstern, U. von/Arens, L.:** Notarzt-Leitfaden. 5. Auflage. München [u.a.]: Elsevier, Urban & Fischer, 2007
- Holbøll, S. A.:** Untersuchungen Über die Blutmenge bei Patienten mit Adipositas. In: Journal of Molecular Medicine, 8 1929, 503–504 <http://dx.doi.org/10.1007/BF01738366>, 10.1007/BF01738366
- Ieronutti, L./Chittaro, L.:** A virtual human architecture that integrates kinematic, physical and behavioral aspects to control H-Anim characters. In: Proceedings of the tenth international conference on 3D Web technology. Bangor, United Kingdom, 2005, 75–83
- Ilias:** About Ilias. [http://www.ilias.de/docu/goto\\_docu\\_cat\\_580.html](http://www.ilias.de/docu/goto_docu_cat_580.html) – Zugriff am 04.06.2012
- Jachs, S.:** Einführung in das Katastrophenmanagement. Hamburg: Tredition, 2011
- Ju, E./Wagner, C.:** Personal computer adventure games: their structure, principles, and applicability for training. In: ACM SIGMIS Database, 28 1997 Nr. 2, 78–92
- Kahn, Christopher A. et al.:** Does START Triage Work? An Outcomes Assessment After a Disaster. In: Annals of Emergency Medicine, 54 2009 Nr. 3, 424–430 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019606440900002X>
- Kanz, K. et al.:** mSTaRT-Algorithmus für Sichtung, Behandlung und Transport bei einem Massenanfall von Verletzten. In: Notfall + Rettungsmedizin,

9 2006, 264–270 [⟨URL: http://dx.doi.org/10.1007/s10049-006-0821-3⟩](http://dx.doi.org/10.1007/s10049-006-0821-3),  
10.1007/s10049-006-0821-3

**Kemper, H.:** Atemschutzgeräteträger. 4. Auflage. Landsberg/Lech: ecomed Sicherheit, 2010, Fachwissen Feuerwehr

**Kizakevich, Paul/Furbaerg, Robert/Dombroski, Col. Richard:** Simulated Patients for Tactical Trauma Triage Training. In: SALT Interactive Technologies Conference. Arlington, USA, 2009

**Klüter, Helmut:** Räumliche Orientierung als sozialgeographischer Grundbegriff. In: Geographische Zeitschrift, 75 1987 Nr. 2, 86–98 [⟨URL: http://www.jstor.org/stable/27818449⟩](http://www.jstor.org/stable/27818449)

**Kristian Larsen:** ghostTown. [⟨URL: http://www.kilad.net⟩](http://www.kilad.net) – Zugriff am 27.04.2011

**Lablua Department of Computer Science of PUC-Rio:** About Lua. [⟨URL: http://www.lua.org⟩](http://www.lua.org) – Zugriff am 02.05.2011

**Landesfeuerwehrschule Bremen:** Notfallmedizin in vier Phasen. [⟨URL: http://www.landesfeuerwehrschule.bremen.de/sixcms/media.php/13/NF-Med%20in%204Phasen.pdf⟩](http://www.landesfeuerwehrschule.bremen.de/sixcms/media.php/13/NF-Med%20in%204Phasen.pdf) – Zugriff am 20.02.2010

**Landesfeuerwehrschule Hessen:** Ausbildungsrahmenplan Feuerwehrgrundlehrgang. Kassel, Deutschland, 03 2012, Hessische Landesfeuerwehrschule Kassel

**Landesfeuerwehrschule Sachsen:** E-Learning Führungskräfte. [⟨URL: http://www.lfs.sachsen.de/9010.htm⟩](http://www.lfs.sachsen.de/9010.htm) – Zugriff am 10.04.2012

**Lengyel, Eric:** Game Engine Gems 2. Natick, Mass.: Peters, 2011

**Lüllmann, H./Mohr, K./Hein, L.:** Pharmakologie und Toxikologie: Arzneimittelwirkungen verstehen - Medikament gezielt einsetzen. 17. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2010

**Luxem, J./Runggaldier, K./Kühn, D.:** Rettungsdienst RS/RH. 2. Auflage. München: Elsevier, Urban & Fischer, 2010

- Madea, Burkhard/Brinkmann, Bernd:** Handbuch gerichtliche Medizin. Berlin: Springer, 2003, Handbuch gerichtliche Medizin Band 2
- Mahlberg, Rolf/Gilles, Annette/Läsch, Anita:** Hämatologie: Theorie und Praxis für medizinische Assistenzberufe. 2. Auflage. Weinheim: Wiley-VCH, 2005
- MakeHuman Team:** Changes io\_import\_scene\_mhx.py. [⌈URL: http://code.google.com/p/makehuman/source/list?path=/trunk/makehuman/tools/blender26x/mhx\\_importer/io\\_import\\_scene\\_mhx.py&start=3478⌋](http://code.google.com/p/makehuman/source/list?path=/trunk/makehuman/tools/blender26x/mhx_importer/io_import_scene_mhx.py&start=3478) – Zugriff am 03.07.2012
- MakeHuman Team:** Home — Makehuman. [⌈URL: http://makehuman.org/⌋](http://makehuman.org/) – Zugriff am 17.05.2010
- MakeHuman Team:** Licensing. [⌈URL: https://sites.google.com/site/makehumandocs/licensing⌋](https://sites.google.com/site/makehumandocs/licensing) – Zugriff am 28.04.2011
- May, Arnd/Mann, Reinhold:** Soziale Kompetenz im Notfall: Praxisanleitung nicht nur für den Rettungsdienst- ein Unterrichtskonzept. Münster, Hamburg [u.a.]: Lit, 2003, Ethik in der Praxis
- Metz, Maren/Theis, Fabienne:** Einleitung. In: **Metz, Maren/Theis, Fabienne (Hrsg.):** Digitale Lernwelt - SERIOUS GAMES: Einsatz in der beruflichen Weiterbildung. 1. Auflage. Bielefeld: Bertelsmann, 2011, 9–11
- Michael, D.R./Chen, S.L.:** Serious games: Games that educate, train and inform. Muska & Lipman/Premier-Trade, 2005
- Microsoft Corporation:** Kinect für Xbox 360. [⌈URL: http://www.xbox.com/de-DE/Kinect⌋](http://www.xbox.com/de-DE/Kinect) – Zugriff am 21.06.2011
- Microsoft GmbH:** DirectX Developer Center. [⌈URL: http://msdn.microsoft.com/de-de/directx⌋](http://msdn.microsoft.com/de-de/directx) – Zugriff am 02.06.2012
- Müller, Sönke:** Memorix Notfallmedizin. 9. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2011
- Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft:** Naturkatastrophen in Deutschland – Schadenerfahrungen und Schadenpotenziale. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 06 2000

- Moodle:** About Moodle.  $\langle$ URL: [http://http://docs.moodle.org/22/en/About\\_Moodle](http://http://docs.moodle.org/22/en/About_Moodle) $\rangle$  – Zugriff am 14.05.2012
- N-Sided:** QUIDAM, the other way to create.  $\langle$ URL: <http://www.n-sided.com/3D/quidam.php?rub=1> $\rangle$  – Zugriff am 17.05.2010
- Nasa - Jet Propulsion Laboratory:** Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).  $\langle$ URL: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> $\rangle$  – Zugriff am 12.05.2012
- National Fire Protection Association:** Abschließender Bericht über den Brandhergang Düsseldorf.  $\langle$ URL: <http://www.nfpa.org/assets/files/pdf/dusseldorf.german.pdf> $\rangle$  – Zugriff am 01.11.2011
- National Institute of Standards and Technology:** Fire Dynamics Simulator.  $\langle$ URL: <http://code.google.com/p/fds-smv/> $\rangle$  – Zugriff am 5.6.2011
- Neitzel, Christian/Ladehof, Karsten:** Taktische Medizin: Notfallmedizin und Einsatzmedizin. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012
- Neteler, Markus/Mitasova, Helena:** Open source GIS: a GRASS GIS approach. Band 773, 3. Auflage. New York: Springer, 2008
- NVIDIA GmbH:** NVIDIA GeForce GTX 690 - Technische Daten.  $\langle$ URL: <http://www.nvidia.de/object/geforce-gtx-690-de.html> $\rangle$  – Zugriff am 31.05.2012
- NVIDIA GmbH:** NVIDIA Texture Tools for Adobe Photoshop.  $\langle$ URL: <http://developer.nvidia.com/nvidia-texture-tools-adobe-photoshop> $\rangle$  – Zugriff am 28.06.2012
- NVIDIA GmbH:** NVIDIA Treiber Downloads.  $\langle$ URL: <http://www.nvidia.de/Download/Find.aspx?lang=de> $\rangle$  – Zugriff am 31.05.2012
- Object Management Group, Inc.:** Business Process Model and Notation.  $\langle$ URL: <http://www.bpmn.org/> $\rangle$  – Zugriff am 02.11.2011
- Oestern, H. J. et al.:** Facts concerning the Eschede disaster. In: Der Unfallchirurg, 101 1998, 813–816  $\langle$ URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s001130050344> $\rangle$ , 10.1007/s001130050344

- Open Source Geospatial Foundation:** Quantum GIS. [URL: http://www.qgis.org/](http://www.qgis.org/) – Zugriff am 03.04.2010
- OpenStreetMap:** OpenStreetMap. [URL: http://www.openstreetmap.org/](http://www.openstreetmap.org/) – Zugriff am 12.05.2012
- Pantzer, Ulrike:** Hinweise zum Gebrauch VAK und Suchdienstkarte. [URL: http://www.drk-paderborn.de/Servicestelle/%20Ehrenamt/download/Gebrauchsanweisung\\_Verletztenanhaengekarte.pdf](http://www.drk-paderborn.de/Servicestelle/%20Ehrenamt/download/Gebrauchsanweisung_Verletztenanhaengekarte.pdf) – Zugriff am 11.05.2010
- Paulo, Mauricio de:** Plugin: Affine Transformations. [URL: http://plugins.qgis.org/plugins/qgsAffine/](http://plugins.qgis.org/plugins/qgsAffine/) – Zugriff am 02.02.2012
- Pleß, G./Seliger, U.:** Entwicklung von Kohlenmonoxid bei Bränden in Räumen Teil 1. In: Ständige Konferenz der Innenminister und-Senatoren der Länder Arbeitskreis V Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Forschungsbericht. Band 145, Heyrothsberge, 2007
- Porter, Thomas/Duff, Tom:** Compositing digital images. In: ACM Siggraph Computer Graphics, 18 1984 Nr. 3, 253–259
- Pranckevicius, Aras:** FramesPerSecond. [URL: http://wiki.unity3d.com/index.php?title=FramesPerSecond](http://wiki.unity3d.com/index.php?title=FramesPerSecond) – Zugriff am 15.03.2011
- Prensky, Marc:** Digital Game-Based Learning. Saint Paul, USA: Paragon House, 2008
- QGIS Project:** QGIS User Guide 1.7.0. Open Source Geospatial Foundation, 2011 [URL: http://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-1.7.0/\\_user/\\_guide/\\_en.pdf](http://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-1.7.0/_user/_guide/_en.pdf)
- Redaktion der Fachzeitschrift Brandschutz / Deutsche Feuerwehr-Zeitung:** Das Feuerwehr-Lehrbuch. 1. Auflage. Stuttgart: Kohlhammer, 2011
- Rettungsschule Niedersachsen:** Notfallrettung und qualifizierter Krankentransport: ein Lehrbuch (nicht nur) für angehende Rettungssanitäterinnen und Rettungssanitäter. 5. Auflage. Goslar: DRK-Landesverband Niedersachsen, Rettungsschule Niedersachsen, 2001

- Reuter, Peter:** Springer Lexikon Medizin. Berlin [u.a.]: Springer, 2004, Springer-Wörterbuch
- Robbins, Arnold/Beebe, Nelson H.F.:** Klassische Shell-Programmierung. Beijing [u.a.]: O'Reilly, 2006
- Roberts, R.A./Landwehr, R.:** The surprising history of the „HRmax= 220-age“ equation. In: Journal of Exercise Physiology, 5 2002 Nr. 2, 1–10
- Scheffler, Uwe:** Zur Strafbarkeit von „Gaffern“. In: Neue Juristische Wochenschrift, 4 1995, 232–234
- Schild, Thomas:** Re: Katastrophenschutzübung Schwalm Eder. E-Mail, 2011, E-Mail Korrespondenz vom 26.09.2011 - 17.10.2011
- Schmidt, Robert F.:** Physiologie Kompakt. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2001, Springer-Lehrbuch
- Schneider, T./Wolcke, B./Böhmer, R.:** Taschenatlas Notfall & Rettungsmedizin: Kompendium für den Notarzt. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2010
- Schöpf, J. et al.:** Psychiatrie für die Praxis: Mit ICD-10-Diagnostik. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2003
- Schottke, David/American Academy of Orthopaedic Surgeons:** Emergency Medical Responder. 5. Auflage. Jones & Bartlett Learning, 2010
- Schünke, M.:** Der Körper des Menschen: Einführung in Bau und Funktion. 15. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2008
- Siemon, A./Ehrlich, D.:** Computer-Technologien für die Ausbildung. In: Florian Hessen, 2010 Nr. 1/2, 9–11
- Siemon, Andreas:** Fachavatare im Einsatz - Katastrophensimulation mit Avataren. In: Tagungsband G-DAY, 3 2009, 14–33
- Siemon, Andreas:** Animation von Avataren mit Microsoft Kinect. In: Tagungsband G-DAY, 4 2011, 3–24



- Siemon, Andreas/Ehrlich, Dirk/Wloka, Dieter:** E-Brandschutz - Vorbeugender Brandschutz mit der E-Learning-Plattform moodle. In: MoodleMoot 2010, 3 2010, [o. S.]
- Siemon, Andreas et al.:** Video Games can Improve Performance in Sports - An Empirical Study with Wii<sup>TM</sup> Sports Bowling. In: Workshop on Human-Machine-Interaction at KI 2009. Paderborn, 2009
- Siemon, Andreas/Wloka, Dieter:** Realistische Terrains in Serious Games. In: Tagungsband G-DAY, 4 2011, 192–199
- Singular Inversions Inc.:** FaceGen - 3D human Faces.  $\langle$ URL: <http://facegen.com/> $\rangle$  – Zugriff am 20.10.2010
- Smith, Joyce/Roberts, Rachel:** Vital Signs for Nurses: An Introduction to Clinical Observations. Oxford: Wiley, 2011
- Smith Micro Inc.:** G2 Character Documentation.  $\langle$ URL: <http://poser.smithmicro.com/tutorials/img/G2\%20Characters\%20Poser\%20Pro.pdf> $\rangle$  – Zugriff am 07.07.2010
- Smith Micro Inc.:** Poser.  $\langle$ URL: <http://poser.smithmicro.com/> $\rangle$  – Zugriff am 22.02.2010
- Spencer, Scott:** Zbrush Character Creation: Advanced Digital Sculpting. 2. Auflage. Indianapolis, Ind.: Wiley, 2011, Serious skills
- Stadt Berlin:** Geodatenservice.  $\langle$ URL: <http://www.berlin.de/ba-mitte/org/geodatenservice/index.html> $\rangle$  – Zugriff am 12.05.2012
- Stadt Kassel:** Angebot Vermessung und Geoinformation.  $\langle$ URL: <http://www.serviceportal-kassel.de/cms05/dienstleistungsgruppen/022007/index.html> $\rangle$  – Zugriff am 12.05.2012
- Steinhäusler, Friedrich:** Final Report CAST (Comparative assessment of security-centered training curricula for first responders on disaster management in the EU).  $\langle$ URL: <http://cast-project.eu> $\rangle$  – Zugriff am 23.08.2011

- Stewart, R.D. et al.:** Experimental human exposure to high concentrations of carbon monoxide. In: Archives of Environmental Health, 26 1973, 1–7
- Stücker, M. et al.:** The cutaneous uptake of atmospheric oxygen contributes significantly to the oxygen supply of human dermis and epidermis. In: The Journal of physiology, 538 2002 Nr. 3, 985–994
- STZ – Simulations- und Trainingszentrum der Anästhesiologischen Universitätsklinik Freiburg:** Simulation.  $\langle$ URL: <http://www.simulationszentrum.org/simulation> $\rangle$  – Zugriff am 16.08.2012
- Swartout, W.R.:** Simulators for human-oriented training. In: Proceedings of the 38th conference on Winter simulation. Monterey, California, USA, 2006, 1202–1202
- Teasdale, G./Jennett, B.:** Assessment of coma and impaired consciousness: A Practical Scale. In: The Lancet, 304 1974 Nr. 7872, 81–84
- The GIMP Team:** GIMP - the GNU Image Manipulation Program.  $\langle$ URL: <http://www.gimp.org/> $\rangle$  – Zugriff am 20.02.2012
- The Khronos Group:** COLLADA - Digital Asset and FX Exchange Schema.  $\langle$ URL: <http://collada.org/> $\rangle$  – Zugriff am 01.06.2011
- The Khronos Group:** OpenGL Overview.  $\langle$ URL: <http://www.opengl.org/about> $\rangle$  – Zugriff am 02.06.2012
- THW Bundesschule:** Lehrgangsplan.  $\langle$ URL: <http://thw-bundesschule.de/> $\rangle$  – Zugriff am 05.04.2011
- Tümmler, Jörn:** Avatare in Echtzeitsimulationen. Kassel: kassel university press GmbH, 2007
- Torus Knot Software Ltd:** Features - OGRE - Open-Source 3D Graphics Engine.  $\langle$ URL: <http://www.ogre3d.org/about/features> $\rangle$  – Zugriff am 02.06.2012
- Torus Knot Software Ltd:** OGRE - Open-Source 3D Graphics Engine.  $\langle$ URL: <http://www.ogre3d.org> $\rangle$  – Zugriff am 02.06.2012

- Tracy, Dan/Tracy, Sean:** CryEngine 3 Cookbook. Birmingham, U.K.: Packt Pub, 2011
- TurboSquid:** 3D people Models, 3D people Animation, 3D people Files at TurboSquid.  $\langle$ URL: <http://www.turbosquid.com/Search/3D-Models/People> $\rangle$  – Zugriff am 16.04.2010
- Unifycommunity:** MeshMorpher.  $\langle$ URL: <http://unifycommunity.com/wiki/index.php?title=MeshMorpher> $\rangle$  – Zugriff am 02.03.2011
- United States Army:** America's Army.  $\langle$ URL: <http://www.americasarmy.com/> $\rangle$  – Zugriff am 17.09.2009
- Unity Technologies:** Modeling Characters for Optimal Performance.  $\langle$ URL: <http://docs.unity3d.com/Documentation/Manual/ModelingOptimizedCharacters.html> $\rangle$  – Zugriff am 05.05.2011
- Unity Technologies:** Unity - Game Engine.  $\langle$ URL: <http://unity3d.com/> $\rangle$  – Zugriff am 02.06.2012
- Unity Technologies:** UNITY - Unity 3 Engine Features.  $\langle$ URL: <http://unity3d.com/unity/engine/> $\rangle$  – Zugriff am 02.06.2012
- Vincent, D.S. et al.:** Teaching Mass Casualty Triage Skills Using Immersive Three-dimensional Virtual Reality. In: Academic Emergency Medicine, 15 2008 Nr. 11, 1160–1165
- Virtual Heroes:** Zero Hour Trains EMTs With Virtual Worst-Case Scenarios.  $\langle$ URL: <http://virtualheroes.com/projects/zero-hour-americas-medic> $\rangle$  – Zugriff am 23.09.2009
- Voss, M.:** Symbolische Formen: Grundlagen und Elemente einer Soziologie der Katastrophe. Bielefeld: Transcript Verlag, 2006
- VStep:** RescueSim.  $\langle$ URL: <http://www.rescuesim.com/> $\rangle$  – Zugriff am 23.09.2009
- Walter Eichendorf, J.H.:** Praxishandbuch Verkehrsmedizin. Wiesbaden: Universum, 2012

- Wang, L.C.T./Chen, C.C.:** A combined optimization method for solving the inverse kinematics problems of mechanical manipulators. In: Robotics and Automation, IEEE Transactions on, 7 1991 Nr. 4, 489–499
- Watt, Alan:** 3D-Computergrafik. 3. Auflage. München: Pearson Studium, 2001, i - Informatik
- Weidringer, Johann Willhelm; Katastrophenhilfe, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und (Hrsg.):** Katastrophenmedizin: Leitfaden für die ärztliche Versorgung im Katastrophenfall. 5. Auflage. München, 2010
- Wenderoth, Kurt:** Angst vorm Tod im Tunnel. In: Hessisch Niedersächsische Allgemeine Zeitung, 2009 Nr. 195, o. S.
- Wigard, Susanne:** XNA Game Studio Express: Spieleprogrammierung für PC und xbox. 2. Auflage. Heidelberg: mitp-Verlag, 2008
- Wikipedia:** Liste der größten Brandkatastrophen — Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Liste\\_der\\_gr%C3%B6%C3%9Ften\\_Brandkatastrophen&oldid=106889035](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Liste_der_gr%C3%B6%C3%9Ften_Brandkatastrophen&oldid=106889035) – Zugriff am 16.08.2012
- Wikipedia:** Triage — Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Triage&oldid=107992951> – Zugriff am 06.11.2012
- Wloka, Dieter:** Rad fahren mit Multimedia-Software (RMS). In: Zeitschrift für Verkehrserziehung, 03 2005, 4–9 + 27
- Yu, X./Ganz, A.:** MiRTE: Mixed Reality Triage and Evacuation game for Mass Casualty information systems design, testing and training. In: Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE. Boston, USA, 2011, 8199–8202
- Yu, Xunyi:** Re: Research question about your system MiRTE. E-Mail, 2012, E-Mail Korrespondenz vom 02.09.2012 - 03.09.2012
- Zentrum für Aus- und Fortbildung (ZAF):** Basisausbildung im THW Prüfungsvorschrift. Bonn, Deutschland, 2006, THW-Extranet

**Ziegenfuß, Thomas:** Notfallmedizin. 4. Auflage. Heidelberg: Springer Medizin, 2007, Springer-Lehrbuch

**Zyda, M.:** From visual simulation to virtual reality to games. In: Computer, 2005, 25–32

## **Teil IV**

## **Anhang**



# Anhang A

## Körperregionen Template



Region	Körperteil	Farbwert als HEX-Code
lLowLeg	Linker Unterschenkel	#100000
rLowLeg	Rechter Unterschenkel	#400000
lUpLeg	Linker Oberschenkel	#200000
rUpLeg	Rechter Oberschenkel	#300000
lLowArm	Linker Unterarm	#900000
rLowArm	Rechter Unterarm	#700000
lUpArm	Linker Oberarm	#800000
rUpArm	Rechter Oberarm	#600000
lHand	Linke Hand	#a00000
rHand	Rechte Hand	#500000
fLowBody	Bauch	#c00000
fupBody	Brust	#d00000
bLowBody	Unterer Rücken	#e00000
bUpBody	Oberer Rücken	#f00000
neck	Hals	#b20000
head	Kopf	#b00000
lips	Lippen	#b01000
nailbed	Nägel	#a02000 u. #502000





# Anhang B

## City-Engine Implementierungen

### BatchImport.py

```
1  '''
2  Created on 21.02.2011
3  @author: Siemon
4  '''
5  from scripting import *
6  # get a CityEngine instance
7  ce = CE()
8  # create Settings
9  settings = SHPImportSettings()
10
11 def importShapes(shpFiles):
12     #setup necessary projection settings
13     settings.setProjection("DisableProjection")
14     settings.setProjectionSettingsEllipsoid("WGS_1984")
15
16     for shp in shpFiles:
17         shp_abs = ce.toFSPath(shp)
18         ce.importFile(shp_abs, settings, interactive=False)
19
20
21 if __name__ == '__main__':
22     #dir related to ce-project path
23     dir = "kassel3d/data/buildings/"
24     #get all objects
25     shpFiles = getObjectsFrom(dir, ce.withName("*.shp"))
26     importShapes(shpFiles)
27     pass
```

## StreetWidthEditor.py

```
1  '''
2  Created on 21.02.2011
3  @author: Siemon
4  '''
5  from scripting import *
6  # get a CityEngine instance
7  ce = CE()
8  @noUIupdate
9  def adaptStreetWidth():
10     sceneobjects = getObjectsFrom(ce.selection, ce.isGraphSegment)
11     for s in sceneobjects:
12         segClas = ce.getAttribute(s, "Klassifizi")
13
14         #9 - Street 1 lane with 1 sidewalk
15         #6 - small street (alley, country lane) without sidewalk
16         #5 - 3 lanes per direction
17         #4 - 2 lanes per direction
18         #3 - 1 lane and 1 crosswalk per direction
19         #2 - 1 lane and 1 crosswalk per direction
20         #1 - 1 lane / one way, parking on side
21
22         if segClas == 1 or segClas == 0:
23             ce.setAttribute(s, "/ce/street/streetWidth", 3)
24             ce.setAttribute(s, "/ce/street/sidewalkWidthLeft", 1.5)
25             ce.setAttribute(s, "/ce/street/sidewalkWidthRight", 1.5)
26         elif segClas == 2 or segClas == 3:
27             ce.setAttribute(s, "/ce/street/streetWidth", 6.0)
28             ce.setAttribute(s, "/ce/street/sidewalkWidthLeft", 2.0)
29             ce.setAttribute(s, "/ce/street/sidewalkWidthRight", 2.0)
30         elif segClas == 4:
31             ce.setAttribute(s, "/ce/street/streetWidth", 10)
32             ce.setAttribute(s, "/ce/street/sidewalkWidthLeft", 2.0)
33             ce.setAttribute(s, "/ce/street/sidewalkWidthRight", 2.0)
34         elif segClas == 5:
35             ce.setAttribute(s, "/ce/street/streetWidth", 12)
36             ce.setAttribute(s, "/ce/street/sidewalkWidthLeft", 2.0)
37             ce.setAttribute(s, "/ce/street/sidewalkWidthRight", 2.0)
38         elif segClas == 9 or segClas == 6:
39             ce.setAttribute(s, "/ce/street/streetWidth", 3)
40             ce.setAttribute(s, "/ce/street/sidewalkWidthLeft", 2.0)
41             ce.setAttribute(s, "/ce/street/sidewalkWidthRight", 2.0)
42
43 if __name__ == '__main__':
44     adaptStreetWidth()
45 pass
```

---

## BatchExport.py

```
1  '''
2  Created on 21.02.2011
3  @author: Siemon
4  '''
5  from scripting import *
6
7  ''' get a CityEngine instance '''
8  ce = CE()
9
10 EXPORT_SETTINGS = FBXExportModelSettings()
11 ''' Name of a Shape Layer '''
12 LAYERNAME = "Shapes*"
13 '''Name of a created File '''
14 FILENAME= 'Layer_'
15
16
17 def make_export_settings():
18     EXPORT_SETTINGS.setGeneralLocation("C:\\Temp")
19     EXPORT_SETTINGS.setGranularityCreateShapeGroups(False)
20     EXPORT_SETTINGS.setGranularityFile('ONE_FILE')
21     EXPORT_SETTINGS.setGranularityMesh('PER_MATERIAL')
22     EXPORT_SETTINGS.setMaterialsCollectTextures(True)
23     EXPORT_SETTINGS.setMaterialsIncludeMaterials(True)
24     EXPORT_SETTINGS.setMeshComponentsNormalsIndexing("NORMALS_SEPARATED")
25     EXPORT_SETTINGS.setMeshComponentsNormalsType("VERTEX_NORMALS")
26     EXPORT_SETTINGS.setGranularityFileSizeLimitMB(9)
27     EXPORT_SETTINGS.setMeshComponentsTextureCoordinates("UV_FIRST")
28     EXPORT_SETTINGS.setMiscOptionsWriteExportLog(False)
29
30 def exportToFBXFile():
31     count=0
32     global ce
33     sceneobjects = getObjectsFrom(ce.scene, ce.isShapeLayer)
34     for s in sceneobjects:
35         try:
36             count += 1
37             name='ShapeB_'+str(count)
38             EXPORT_SETTINGS.setGeneralName(name)
39             ce.export(s, EXPORT_SETTINGS, False)
40         except Exception:
41             print "Error: could not export to FBX file!"
42
43 if __name__ == '__main__':
44     make_export_settings()
45     exportToFBXFile()
46     pass
```



# Anhang C

## Mary-TTS Implementierungen

### crossdomain.xml

```
1 <?xml version="1.0"?>
2 <cross-domain-policy>
3   <allow-access-from domain="*" />
4 </cross-domain-policy>
```

### FileRequestHandler.java Version 4.3.0

```
43     private Set<String> validFiles = new HashSet<String>(Arrays.asList(new
44         String[] {
45             "favicon.ico",
46             "index.html",
47             "documentation.html",
48             "mary.js",
49             //mod 1: Siemon
50             "crossdomain.xml"
51             //end mod 1
52         }));
```

```
95     private void sendResourceAsStream(String resourceFilename, HttpServletResponse
96         response) throws IOException
97     {
98         InputStream stream =
99             MaryHttpServer.class.getResourceAsStream(resourceFilename);
100
101         String contentType;
102         if (resourceFilename.endsWith(".html"))
103             contentType = "text/html; charset=UTF-8";
104         else if (resourceFilename.endsWith(".wav"))
105             contentType = "audio/wav";
```

```
104         else if (resourceFilename.endsWith(".m3u"))
105             contentType = "audio/x-mpegurl";
106         else if (resourceFilename.endsWith(".swf"))
107             contentType = "application/x-shockwave-flash";
108         //mod 2: Siemon
109             else if (resourceFilename.endsWith(".xml"))
110                 contentType = "text/xml; charset=UTF-8";
111         //end mod 2
112         else
113             contentType = "text/plain";
114         if (stream!=null) {
115             MaryHttpServerUtils.toHttpResponse(stream, response, contentType);
116         } else {
117             MaryHttpServerUtils.errorFileNotFound(response, resourceFilename);
118         }
119     }
```

## RAWMaryXML: Positive Sprachausgabe

```
1  <?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
2  <maryxml version="0.4"
3  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
4  xmlns="http://mary.dfki.de/2002/MaryXML"
5  xml:lang="de">
6  <prosody
7  pitch=18
8  pitch-dynamics=-10
9  range=6.52st
10 range-dynamics=54
11 preferred-accent-shape=rising
12 accent-slope=43
13 accent-prominence=12
14 preferred-boundary-type=low
15 rate=40
16 number-of-pauses=44
17 pause-duration=-13
18 vowel-duration=26
19 nasal-duration=26
20 liquid-duration=26
21 plosive-duration=20
22 fricative-duration=20
23 volume=71
24 >
25 BeispielText
26 </prosody>
27 </maryxml>
```

---

## RAWMaryXML: Negative Sprachausgabe

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
2 <maryxml version="0.4"
3   xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
4   xmlns="http://mary.dfki.de/2002/MaryXML"
5   xml:lang="de">
6   <prosody
7     pitch=-20
8     pitch-dynamics=-31
9     range=1.92st
10    range-dynamics=-100
11    preferred-accent-shape=falling
12    accent-slope=-30
13    accent-prominence=-4
14    preferred-boundary-type=high
15    rate=-35
16    number-of-pauses=-36
17    pause-duration=10
18    vowel-duration=-13
19    nasal-duration=-13
20    liquid-duration=-13
21    plosive-duration=-13
22    fricative-duration=-13
23    volume=33
24  >
25    BeispielText
26  </prosody>
27 </maryxml>
```





ISBN 978-3-86219-610-4