



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Spezialeffekte in der Geovisualisierung“

Verfasser

Thomas Huber

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 455

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Kartographie und Geoinformation

Betreuerin / Betreuer:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl

ABSTRACT

This master thesis deals with the basic theoretical and practical methods for creating digitally generated special effects in three dimensional geovisualizations. The thesis uses technological basics from computer graphics and computer animation that have become an important tool for cartography. This thesis displays the possibilities of 3D computer graphics for geovisualization.

Visualization in general means representation. Geovisualization is because of its connection to geography a special kind of visualization. A very expressive form of dynamic visualization is cartographic computer animation. These animations enable displaying very complex spatiotemporal processes and have a bigger impact on the beholder compared to conventional cartographic presentation media. Geovisualization often uses a wide range of digital special effects for displaying preferably realistic results. This thesis introduces basic techniques and tools that are used in 3D-programmes for creating such effects.

This thesis aims to demonstrate the beholder of threedimensional visualizations with which tools digital special effects can be created and in which reasonable way they can be used for geovisualization.

KURZFASSUNG

Diese Diplomarbeit befasst sich mit den grundlegenden theoretischen und praktischen Methoden für die Erstellung von digital erzeugten Spezialeffekten in dreidimensionalen Geovisualisierungen. Dafür nutzt die Arbeit technologische Grundlagen aus der Computergrafik und Computeranimation, die zu einem wichtigen Hilfswerkzeug für die Kartographie geworden sind. In dieser Arbeit soll veranschaulicht werden, welchen Möglichkeiten die 3D-Computergrafik für Geovisualisierungen bietet.

Visualisierung bedeutet allgemein Veranschaulichung. Die Geovisualisierung stellt auf Grund ihres Bezugs zur Geographie eine Spezialform der Visualisierung dar. Eine ausdrucksstarke Form der dynamischen Visualisierung im räumlichen Datenverarbeitungsprozess ist die kartographische Computeranimation. Diese Animationen ermöglichen es sehr komplexe raum-zeitliche Prozesse darzustellen und haben eine größere Wirkung auf den Betrachter als herkömmliche kartographische Präsentationsmedien. In Geovisualisierungen werden meist eine ganze Bandbreite von digitalen Spezialeffekten angewendet, um möglichst realitätsnahe Ergebnisse darzustellen. Diese Arbeit stellt grundlegende Techniken und Werkzeuge, mit denen 3D-Programmen arbeiten, vor, um solche Effekte erzeugen zu können.

Das vorrangige Ziel der Arbeit ist es, dem Betrachter von dreidimensionalen Visualisierungen vor Augen zu führen, mit welchen Methoden digitale Spezialeffekte geschaffen werden können und in welcher Art und Weise diese sinnvoll für Geovisualisierungen eingesetzt werden können.

DANKSAGUNG

Herzlich bedanken möchte ich mich an erster Stelle natürlich bei meinem Betreuer Andreas Riedl, der mir den Anstoß für dieses Thema gab und mir in unseren Gesprächen immer mit Ideen und Rat für diese Arbeit zur Seite stand. Ein weiterer Dank gilt meinen Studienkollegen, allen voran Matthias, Christoph, René und Douglas, mit denen ich eine unvergessliche Studienzeit verbringen durfte. Meinen langjährigen Weggefährten Carmen, Franklin, Georg, Andreas und Alexander soll an dieser Stelle auch großer Dank für ihre Treue gewidmet werden, sowie meinen weiteren Freunden, die ich in meiner Zeit in Wien kennenlernen durfte.

Meinen größten Dank möchte ich meinem Bruder Walter, der für mich immer ein Vorbild war und es immer noch ist, sowie meinen Eltern ausdrücken, die mir mit ihrer Unterstützung alles in meinem Leben ermöglicht haben.

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS.....	i
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	iv
TABELLENVERZEICHNIS.....	viii
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	ix
VORWORT	xi
1 EINLEITUNG	1
1.1 Einführung in das Thema.....	1
1.2 Forschungsstand und Zielsetzung	3
2 (GEO-)VISUALISIERUNG	7
2.1 Visualisierung	7
2.2 Geovisualisierung	8
Historische Entwicklung der Geovisualisierung	10
2.3 2D-Visualisierung versus 3D-Visualisierung	12
2.3.1 2D-Visualisierung	12
2.3.2 3D-Visualisierung	13
2.4 Die Grundlagen der 3. Dimension.....	13
2.4.1 Definition der Dimensionen	13
2.4.2 Der 3D-Raum	15
2.4.3 Arten der 3D-Modellierung	16
2.4.4 3D-Elemente	17
2.4.5 Manipulationsmöglichkeiten von 3D-Elementen.....	19
2.5 Die Bedeutung von 3D für die Visualisierung.....	21
2.5.1 Nutzen von 3D-Visualisierung	22
2.5.2 Anwendungsmöglichkeiten von 3D-Visualisierungen.....	23
2.5.3 3D-Geovisualisierung	26

2.5.4	Vor- und Nachteile von 3D-Geovisualisierungen.....	27
2.5.5	Das Konzept der Virtuellen Landschaft	29
2.6	Visualisierungssoftware.....	30
2.6.1	Funktionalitäten von 3D-Programmen	30
2.6.2	Softwareprodukte	31
3	SPEZIALEFFEKTE.....	35
3.1	Begriffsdefinition.....	35
3.1.1	Special Effects	36
3.1.2	Visual Effects	38
3.2	Computergrafik und Computeranimation.....	39
3.2.1	Historische Entwicklungen der Computergrafik und Computeranimation	40
3.2.2	Geschichte der Special Visual Effects aus dem Computer	45
3.2.3	Grundlagen der Computeranimation	50
3.2.4	Computeranimation für die kartographische Darstellung	51
3.3	Techniken der digitalen Bildbearbeitung	53
3.3.1	Zweidimensionale Computer Graphics.....	54
3.3.2	Dreidimensionale Computer Graphics.....	55
4	EINSATZ VON SPEZIALEFFEKTEN IN GEOVISUALISIERUNGEN	63
4.1	Techniken für die Erstellung von Spezialeffekten.....	63
4.1.1	Partikeleffekte	64
4.1.2	PyroCluster	70
4.1.3	Deformationseffekte.....	72
4.1.4	Licht- und Schatteneffekte	78
4.1.5	Umgebungseffekte	85
4.2	Beispiele von Spezialeffekten.....	87
4.2.1	Spezialeffekte mit PyroCluster	87
4.2.2	Spezialeffekte mit Partikelsystem	91
4.2.3	Spezialeffekte mit Umgebungsobjekte	93

4.2.4	Spezialeffekte mit Plug-Ins für CINEMA 4D	95
4.3	Anwendungsbeispiele	96
4.3.1	3D-Visualisierung und Vorhersage von Waldbränden in einem 3D-GIS.....	97
4.3.2	3D-Visualisierung von Gletscherrückgängen	100
4.3.3	3D-Visualisierung der Meidum Pyramide	103
5	ZUSAMMENFASSUNG	109
6	LITERATUR	113
7	INTERNETQUELLEN	117
	LEBENS LAUF	119

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Die Zwecke der Geovisualisierung anhand des „map use cube“ nach MacEACHREN & KRAAK [EAC-97, S.338]	9
Abbildung 2: Typisches Ansichtsfenster einer 3D-Software (eigene Quelle)	15
Abbildung 3: Rechte-Hand-Regel und Weltkoordinaten [MAC-00, S.39]	16
Abbildung 4: Drei Arten der 3D-Modellierung: Drahtmodell, Flächenmodell, Volumenmodell [MAC-00, S.42]	17
Abbildung 5: 3D-Darstellung der Gladiatorenschule in Carnuntum, Niederösterreich (Quelle: http://archpro.lbg.ac.at/case-studies/austria/carnuntum [08.10.2011]).....	24
Abbildung 6: 3D-Visualisierung der Seestadt Aspern, Wien (Quelle: http://www.aspern-seestadt.at/downloads/aspern-visualisierungen-fotos-plaene [08.10.2011]).....	25
Abbildung 7: Geologisches Schichtenmodell [COO-05]	25
Abbildung 8: Landschaftsvisualisierung mit CINEMA 4D [MAX-12].....	32
Abbildung 9: Geovisualisierung mit ArcGIS 3D Analyst (Quelle: http://www.esri-austria.at/products/arcgis/extensions/3danalyst/overview.html [06.02.2012])	33
Abbildung 10: Geologische Schichtenmodellierung in GSI3D (Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/File:GSI3D_interface.jpg [08.02.2012])	34
Abbildung 11: Der erste Animationscomputer „Whirlwind“ (Quelle: http://www.clavius.info/img/whirlwind-computer.jpg [12.11.2011])	40
Abbildung 12: Ivan Sutherland demonstriert das Skechpad (Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sketchpad-Apple.jpg [12.11.2011]).....	41
Abbildung 13: Der Utah-Teapot von Martin Newell [FLÜ-00].....	42
Abbildung 14: Flying Logos diverser amerikanischer TV-Sender ab Ende der 70er [FLÜ-08]	43
Abbildung 15: Ausschnitt aus dem Musikvideo zu <i>Musique Non Stop</i> von Kraftwerk (Quelle: http://www.dipaola.org/projects/kraftwerk87/images/kraftwerk87_image_5.jpg [14.11.2011])	43

Abbildung 16: Szenen aus der Computeranimation <i>Particle Dreams</i> von Karl Sims (Quelle: http://www.karlsims.com/particle-dreams.html [14.11.2011])	44
Abbildung 17: Digitale Evolution von Pflanzenwelten in <i>Panspermia</i> (Quelle: http://www.karlsims.com/panspermia.html [14.11.2011])	45
Abbildung 18: Mechanische Ameise aus dem Animationsfilm <i>The Works</i> (Quelle: http://www.cs.cmu.edu/~ph/nyit/ant_interior.jpeg [17.11.2011])	46
Abbildung 19: Light Cycles aus dem Film <i>Tron</i> (Quelle: http://xahlee.org/math/i/tron_lightcycles.jpg [17.11.2011])	47
Abbildung 20: Szene aus Pixars <i>Luxo Jr.</i> (Quelle: http://www.pixar.com/shorts/ljr/images/landing_1.jpg [17.11.2011])	48
Abbildung 21: Szene aus <i>Toy Story</i> von Pixar (Quelle: http://www.pixar.com/featurefilms/ts/images/ts-front.jpg [17.11.2011])	49
Abbildung 22: Szene aus dem Film <i>Avatar</i> (Quelle: http://img.tehcpeng.net/2009/Avatar_pandora.jpg [18.11.2011])	50
Abbildung 23: Texturierung eines volumenhaften Körpers (Quelle: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:K%C3%B6rper.png&filetimestamp=20091007192139 [20.01.2012])	57
Abbildung 24: Emission von kugelförmigen Partikeln (eigene Bearbeitung)	67
Abbildung 25: Nodebasierte Arbeitsweise im <i>XPresso Editor</i> von CINEMA 4D (eigene Bearbeitung)	70
Abbildung 26: Verschiedene PyroCluster-Raucheffekte [ASA-11, S.656]	71
Abbildung 27: Deformationsobjekte-Palette (eigene Quelle)	72
Abbildung 28: Deformer-Objekte müssen hierarchisch untergeordnet werden (eigene Quelle)	72
Abbildung 29: Das selbe Objekt: links Biegung mit nur einem Segment, recht mit mehreren Segmenten (eigene Bearbeitung)	73
Abbildung 30: Einstellung für die Anzahl der Segmente in den Objekt-Eigenschaften (eigene Quelle)	73
Abbildung 31: Wirkung von Deformations-Objekte auf Partikel (links oben) und Haare (rechts oben) sowie auf MoGraph-Klone in Gitteranordnung (unten). [CIN-11]	74
Abbildung 32: Morph-Sequenz der Kugel bis zum Target [KOE-00, S.41]	78

Abbildung 33: Lichtquellen in der Licht-Objekte-Palette von CINEMA 4D (eigene Quelle)	78
Abbildung 34: Einstellungen im Attribut-Manager für Licht-Objekt (eigene Quelle)	79
Abbildung 35: Lichttypen: Punktlicht, runder Spot, eckiger Spot, paralleler runder Spot, paralleler eckiger Spot, Flächenlicht (mit Objekttyp Linie) [ASA-11, S.350]	80
Abbildung 36: Szene mit Noise-Effekt für das Licht (eigene Bearbeitung)	84
Abbildung 37: Eine Supernova als Beispiel für den Noise-Effekt [CIN-11].....	84
Abbildung 38: PyroCluster-Shader (eigene Quelle).....	88
Abbildung 39: VolumeTracer wird dem Umgebungsobjekt hinzugefügt (eigene Quelle)	88
Abbildung 40: PyroCluster Shader (eigene Quelle)	89
Abbildung 41: Beispiele für PyroCluster-Effekte (eigene Bearbeitung)	89
Abbildung 42: Vulkanausbruch mit PyroCluster-Effekt [C4D-11]	90
Abbildung 43: Wasserfall mit PyroCluster (eigene Bearbeitung)	91
Abbildung 44: Landschaftsszene mit PyroCluster Wasserfall (eigene Bearbeitung)	91
Abbildung 45: Aufbau des Partikelsystems (eigene Quelle)	92
Abbildung 46: Beispiel für Metaball-Partikel (eigene Bearbeitung)	92
Abbildung 47: Partikelanimation mit Lichtquellen (eigene Bearbeitung)	93
Abbildung 48: Einstellungen für das Nebelsystem (eigene Quelle)	94
Abbildung 49: Stadtszene mit Umgebungsobjekte (eigene Bearbeitung)	94
Abbildung 50: Einstellungsfenster von Thrausi (eigene Quelle)	95
Abbildung 51: Einsturz eines Gebäudes mit Thrausi (eigene Bearbeitung)	96
Abbildung 52: Die Insel Gran Canaria mit verschiedenen Layern mittels Software Capaware [CAS-10, S.391]	98
Abbildung 53: Level of Detail (LOD) für das Partikelsystem [CAS-10, S.395].....	99
Abbildung 54: 3D-Visualisierung von Waldbränden [CAS-10, S.392]	99
Abbildung 55: Visualisierung zeigt anhand von verschiedenen Farbwerten die zeitliche Ausbreitung des Waldbrandes [CAS-10, S.394]	99

Abbildung 56: Screenshot aus der Animation des Dachstein Gletschers im Jahr 1850 [BRU-10, S.23]	101
Abbildung 57: Screenshot aus der Animation des Dachstein Gletschers im Jahr 2002 [BRU-10, S.23]	101
Abbildung 58: Screenshots aus der Animation des Gletscherrückgangs im Blackfoot-Jackson Becken im Glacier National Park von 1850 bis 2100 [HAL-03, S.139].....	103
Abbildung 59: Mind-Map für das Projekt "Meidum Pyramide" (eigene Bearbeitung).....	104
Abbildung 60: Vorderansicht der Meidum Pyramide.....	105
Abbildung 61: Draufsicht der Meidum Pyramide.....	105
Abbildung 62: Kammersystem der Pyramide	106
Abbildung 63: QTVR Ansicht der Pyramide (eigene Bearbeitung).....	107
Abbildung 64: 3D-Visualisierung der Meidum-Pyramide (eigene Bearbeitung).....	108

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Grundlegende 3D-Elemente (eigene Bearbeitung nach MACH [MAC-00, S.43-44])	17
Tabelle 2: Grundlegende erzeugende Manipulationen eines 3D-Programms (eigene Bearbeitung nach MACH [MAC-00, S.47]).....	19
Tabelle 3: Grundlegende verändernde Manipulationen eines 3D-Programms (eigene Bearbeitung nach MACH [MAC-00, S.48]).....	20
Tabelle 4: Vor- und Nachteile eines Partikelsystems [NG-00, S.21]	65
Tabelle 5: Typen von Modifikatoren (eigene Bearbeitung)	68
Tabelle 6: Geometrische Deformatoren (eigene Bearbeitung)	75
Tabelle 7: Gitter- und objektbasierte Deformatoren (eigene Bearbeitung).....	76
Tabelle 8: Effekt-Deformatoren (eigene Bearbeitung)	77
Tabelle 9: Lichttypen (eigene Bearbeitung).....	80
Tabelle 10: Schattentypen (eigene Bearbeitung)	81
Tabelle 11: Formen des sichtbaren Lichtes (eigene Bearbeitung).....	83
Tabelle 12: Die wichtigsten Umgebungseffekte (eigene Bearbeitung).....	85

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional
C4D	Cinema 4D
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CG	Computer Graphics
CGI	Computer Generated Imagery
DGM	Digitales Geländemodell
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
GIS	Geographisches Informationssystem
GUI	Graphical User Interface
LOD	Level of Detail
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NYIT	New York Institute of Technology
PC	Personal Computer
QTVR	QuickTime Virtual Reality
VFX	Visual Effects

VORWORT

Die Geographie – und hier speziell die Kartographie – begleitete mich nahezu mein ganzes Leben. Schon in meiner Kindheit waren es Atlanten und verschiedenste Kartenwerke, die auf mich mehr Faszination ausübten als Kinderbücher und dergleichen. Ebenso vertiefte ich mich gerne in geographische Fachbücher über den Aufbau der Erde, Vulkane, Ozeane, Klima- und Landschaftszonen der Erde usw. Selber zeichnete ich als Kind häufig Karten und Stadtpläne.

In der Schule zählte die Geographie und Wirtschaftskunde klarerweise zu meinen Lieblingsfächern, weshalb ich auch in der Oberstufe meines Bundesrealgymnasiums die Geographie als freies Wahlpflichtfach wählte.

Nach meiner Matura stand ich dann vor der wegweisenden Wahl meines Studiums. Mit der Geographie als Studienfach war ich mir anfangs nicht ganz sicher, jedoch bestärkte mich mein Bruder, der selbst Geographie an der Universität Wien fertig studiert hat, mit der Wahl. Im Herbst 2005 begann ich mein Studium der Geographie und Regionalforschung. Nach einem kurzem Ausflug in die Regionalentwicklung als Spezialisierung im 2. Studienabschnitt, sattelte ich dann doch ganz auf die Kartographie und Geoinformation um. Eine Entscheidung, die ich nicht bereuen sollte.

Diese Arbeit befasst sich mit dem Thema „Spezialeffekte in der Geovisualisierung“. Der Fokus liegt hier ganz auf dem Bereich der dreidimensionalen Visualisierung. Der 3D-Bereich fasziniert mich schon lange. Jedoch war die Lehrveranstaltung „Multimediatechnologie und Geo-kommunikation“ bei Prof. Andreas Riedl hauptauschlaggebend, dass ich meine Diplomarbeit in dieser Thematik machen will. Als ich im Frühjahr 2011 ein persönliches Gespräch mit Herrn Riedl hatte und ihm meine Interessen unterbreitete, schlug er mir daraufhin dieses hier vorliegende Thema vor.

Für die Arbeit verwendete ich die 3D-Software CINEMA 4D, da wir den Umgang mit dieser Software in besagter Lehrveranstaltung lernten. Mein persönlicher Nutzen aus dieser Arbeit war, dass ich noch bessere Einblicke in den Bereich der digitalen Spezialeffekte bekam und neue Erkenntnisse und Erfahrungen im Umgang mit der 3D-Software lernen durfte.

Diese Arbeit soll für den Leser einen Einblick in die Thematik der Spezialeffekte und Geovisualisierungen bieten sowie auch Impulse in der Anwendung mit der Software CINEMA 4D setzen.

Abschließend noch ein Hinweis für das Lesen: Zwischen den Begriffen „Spezialeffekte“ und „digitale Spezialeffekte“ gibt es einen signifikanten Unterschied, da mit „Spezialeffekte“ im Prinzip Effekte gemeint sind, die nicht digital am Computer erzeugt wurden. Da sich diese Arbeit jedoch hauptsächlich mit den digitalen Spezialeffekten befasst, habe ich für die einfachere Lesbarkeit häufig das Wort „digital“ weggelassen.

Wien, im September 2012

1 EINLEITUNG

Spätestens seit 1969/70, als das erste interaktive Computergraphiksystem Marktreife erlangte, ist die Kartographie weltweit durch ein besonders rasches Vordringen computergestützter Arbeitsverfahren gekennzeichnet. Ihr gegenwärtiger Anwendungsbereich erstreckt sich von der Datenaufnahme über alle Phasen der Aufbereitung, Umsetzung und Manipulation bis hin zur Erstellung druckfertiger Farbsätze. Es ist zu erwarten, daß [sic] diese Phase, die wohl zutreffend als „Übergangsperiode zur Elektronik in der Kartographie“ charakterisiert wird (MONMONIER 1985), alle Formen des konventionellen Entwurfs, der Herstellung und des Gebrauchs von Karten nachhaltig verändern wird. [ASC-88, S.198]

Diese Worte stammen von Prof. Dr. Hartmut Asche in seinem Beitrag in den Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Band 1, aus dem Jahr 1988. Anhand dieses Zitats ist zu erkennen, in welcher Phase des Wandels sich die Kartographie ab Mitte der 80er Jahre befand, das auf das nächste Kapitel der Einführung in das Thema überleitet.

1.1 Einführung in das Thema

Das technologische, wissenschaftliche und gesellschaftliche Umfeld, in welcher die Kartographie tätig ist, und in dem Karten hergestellt und verwendet werden, hat sich in den vergangenen Jahrzehnten bedeutend verändert. Grundlegende Veränderungen traten in der Akquisition, Verwaltung, Analyse und kartographischen Darstellung von Geodaten auf. Hervorgerufen durch den rasanten technologischen Fortschritt im Bereich der Computerhardware und -software entwickelte sich die Computergrafik und 3D-Visualisierung zu einem wichtigen Hilfswerkzeug für die Kartographie. Einen ebenso wesentlichen Beitrag leistete ab Mitte der 1990er Jahre das World Wide Web, das sich zu einem führenden Medium in der Verbreitung von Geodaten und Karten entwickelt hat. Karten werden nicht mehr nur in statischem 2D Format erstellt und verbreitet,

sondern können die Vorteile der interaktiven virtuellen Umgebungen beziehen, um dynamische Geodaten zu erforschen und zu präsentieren. Als Folge dieser Veränderungen bieten Karten einen wertvolleren Zugang zur Welt als jemals zuvor. [EAC-01, S.2f]

3D-Visualisierungen werden heutzutage in vielen Bereichen, vor allem in Film & Fernsehen, eingesetzt. Besonders die digitalen Spezialeffekte fesseln und begeistern uns immer wieder aufs Neue. Beispiele aus den vergangenen Jahren sind Hollywood Blockbuster wie „Avatar“ (2009) oder „Inception“ (2010), sowie auch die Animationsfilme der Pixar Animation Studios, die vor allem bekannt sind für ihre „Toy Story“ Filme. Doch nicht nur die Filmindustrie profitiert von diesen Spezialeffekten, auch Dokumentationen greifen oft auf diese Techniken zurück. So gibt es heutzutage schon eine Vielzahl an aufwendig kreierten Dokumentationen beispielsweise der BBC Reihe, welche die Zuseher mittels 3D-Visualisierungen ein besseres Bild über beispielsweise der Entstehungsprozesse der Erde oder Naturkatastrophen vermitteln können. Die Bandbreite der Nutzer solcher Techniken reicht sogar bis zu den alltäglichen Nachrichtensendungen, die vermehrt bei Beiträgen auf 3D-Visualisierungen setzen.

Im Bereich der Kartographie und Geoinformation finden solche Animationen und 3D-Visualisierungen, so genannte Geovisualisierungen auf Grund ihres Bezugs zur Geographie, immer mehr Einzug und Verwendung. Die Geovisualisierung stellt eine Spezialform der "allgemeinen" Visualisierung dar. Die Geovisualisierung ist ein noch relativ junger Bereich mit großem Potential. Eine 3D-Visualisierung kann helfen, Fehler im Vorfeld von Planungen zu vermeiden, Informationen auch für Nichtfachleute verständlich zu machen und eine für viele Beteiligte nutzbare Kommunikationsplattform zu schaffen.

Digitale Spezialeffekte zählen zu den wichtigsten und markantesten Elementen in einer Geovisualisierung; beispielsweise Explosionen und die markante Eruptionssäule bei einem Vulkanausbruch, Wassereffekte bei einer Überschwemmung, Feuer- und Raucheffekte bei Waldbränden, Schmelzeffekte

bei Gletscherrückgängen oder einstürzende Gebäude bei Erdbeben, um ein paar Beispiele anzuführen.

Oft stellt sich dem Zuseher hierbei die Frage, was hinter diesen Spezialeffekten in den 3D-Visualisierungen steckt und mit welchen Techniken dabei gearbeitet wird. Diese Arbeit soll einen Blick hinter den Kulissen geben und dabei die Grundlagen der Computergrafik und 3D-Visualisierungen geben sowie die Möglichkeiten vom Einsatz der Spezialeffekte beleuchten. Ebenso sollen Anwendungsmöglichkeiten gezeigt werden, um z.B. Naturkatastrophen besser darstellen zu können oder um Präventiv-Möglichkeiten in gefährdeten Gebieten aufzeigen zu können.

1.2 Forschungsstand und Zielsetzung

In den letzten Jahrzehnten hat sich eine breite Palette an Softwareprodukten auf dem Markt etabliert, die sich in der Erstellung von 3D-Visualisierungen und Animationen beschäftigen. Besonders die Möglichkeiten der Erstellung von Spezialeffekten üben den Reiz für Kartographen und Geoinformatiker aus, diese Effekte für Geovisualisierungen anzuwenden. Auf diversen Webseiten finden sich viele Beispiele für Geovisualisierungen aus den unterschiedlichsten Bereichen, die mit Spezialeffekten aus 3D-Programmen hergestellt wurden. Zudem gibt es eine Fülle an Tutorials und Anleitungen zum Nachbau von Spezialeffekten und 3D-Visualisierungen mit geographischem Bezug. Im Bereich der Literatur widmen sich zahlreiche Bücher der 3D-Softwareprodukten. Jedoch ist im Bereich „Spezialeffekte in Geovisualisierungen“ nur wenig zu finden. Daher versucht diese Diplomarbeit beide Bereiche – Spezialeffekte und Geovisualisierungen – zu vereinen, um diese Lücke zu schließen.

Folgende Forschungsfragen, die in dieser Diplomarbeit behandelt werden sollen, ergeben sich:

- Wie hat sich die 3D-Visualisierung in den letzten Jahrzehnten entwickelt?
- Wie sieht der aktuelle wissenschaftliche Stand auf dem Gebiet der 3D-Geovisualisierung aus, bzw. welchen Stellenwert hat hierbei die Anwendung von Spezialeffekten?
- Welche Techniken gibt es, um digitale Spezialeffekte zu erzeugen?
- Welche Spezialeffekte lassen sich wie in der Geovisualisierung mittels 3D-Programmen sinnvoll einsetzen?

Das Ziel der Diplomarbeit soll vorrangig sein dem Leser bewusst zu machen, mit welchen Möglichkeiten dank der heutigen 3D-Softwaretechnologie digitale Spezialeffekte erzeugt werden und wie diese in weiterer Folge sinnvoll für Geovisualisierungen eingesetzt werden können.

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit dem Thema „Spezialeffekte in der Geovisualisierung“. Im Wesentlichen gliedert sich die Arbeit in zwei Hauptteile, einem theoretischen und einem praktisch angelehnten Teil. Im ersten Kapitel des Theorieteils wird der Bereich der (Geo-)Visualisierung allgemein verständlich erklärt. Eine Einführung in den Bereich der Dreidimensionalität erfolgt in den Kapiteln 2.3 und 2.4. Im darauf folgenden Kapitel 2.5 liegt das Hauptaugenmerk auf die 3D-Visualisierung. In den Unterkapiteln von Kapitel 2.5 werden Anwendungsmöglichkeiten sowie Vor- und Nachteile von 3D-Visualisierungen skizziert. Im letzten Abschnitt von Kapitel 2 werden noch ein paar Beispiele für Softwareprodukte im Bereich 3D-(Geo-)Visualisierung vorgestellt.

Im Kapitel 3 liegt der Fokus auf den Spezialeffekten. Zu Beginn erfolgen Begriffsdefinitionen und die Abgrenzung der klassischen Spezialeffekten und den digital erzeugten Effekten. Ein historischer Überblick (siehe Unterkapiteln von Kapitel 3.2) gibt einen Streifzug in der Geschichte und Entwicklung der

Computergrafik im spezielleren Fokus auf die 3D-Visualisierungen. Die geschichtliche Entwicklung der Spezialeffekte wird dabei auch kurz Aufmerksamkeit geschenkt. Dem folgt in Unterkapitel 3.2.3 die Grundlagen der Computeranimation und dessen Bedeutung für die Kartographie (siehe Unterkapitel 3.2.4). Abgeschlossen wird dieses Kapitel mit einem kurzen Überblick der Grundlagen der digitalen Bildbearbeitung, welche als Basis zur Erstellung digitaler Spezialeffekte fungieren.

Dem folgt jener zweite Hauptteil, welcher sich dem praktischen Teil der Arbeit widmet. Hier (Kapitel 4 *Einsatz von Spezialeffekten in Geovisualisierungen*) werden die grundlegenden Techniken und Werkzeuge beleuchtet, mit denen digitale Spezialeffekte mit Hilfe von 3D-Programmen erzeugt werden können. Kapitel 4.1 widmet sich diesen grundlegenden Techniken für die Erstellung von Spezialeffekten im Detail. Dabei werden die verschiedenen Möglichkeiten – von Partikeleffekte, PyroCluster-Effekte, Deformationseffekte, Licht- und Schatteneffekte sowie Umgebungseffekte – genauer beleuchtet. Anhand von praktischen Beispielen (siehe Kapitel 4.2) wird veranschaulicht, wie diese Techniken für Spezialeffekte angewendet werden können. Zur Erstellung der Spezialeffekte wurde hierbei die 3D-Software CINEMA 4D der Firma Maxon verwendet. Abschließend zeigen drei Anwendungsbeispiele aus unterschiedlichen Bereichen der Geovisualisierungen, wie Spezialeffekte eingesetzt werden können (siehe Kapitel 4.3). Im Unterkapitel 4.3.1 wird eine Visualisierung und Vorhersage von Waldbränden in einem 3D-GIS vorgestellt. Dem folgen zwei Beispiele von 3D-Visualisierungen von Gletscherrückgängen (siehe Kapitel 4.3.2). Abgeschlossen wird dieses praktisch angelehnte Kapitel mit einer 3D-Visualisierung einer ägyptischen Pyramidenanlage (siehe Kapitel 4.3.3).

Beendet wird diese Arbeit in Kapitel 5 mit einem Fazit und einem möglichen Ausblick.

2 (GEO-)VISUALISIERUNG

Der erste theoretische Abschnitt der Arbeit behandelt im Wesentlichen die Bereiche der Geovisualisierung und des 3D-Raums als Basis für 3D-Geovisualisierungen. Zu Beginn werden die Begriffe Visualisierung und Geovisualisierung genauer betrachtet. Kapitel 2.2 beschreibt zudem die historische Entwicklung der Geovisualisierung. Anschließend wird auf die Grundlagen der Dreidimensionalität eingegangen. In den Unterkapiteln werden grundlegende Begriffe sowie die wesentlichen 3D-Elemente und deren Manipulationsmöglichkeiten als Basis für die im späteren Verlauf der Arbeit behandelten digitalen Spezial Effekte erläutert. Die 3D-Visualisierung mitsamt der Anwendungsmöglichkeiten und darauf aufbauend die 3D-Geovisualisierung werden im Anschluss behandelt. Abschließend werden einige wichtige Softwareprodukte aus dem Visualisierungsbereich kurz präsentiert.

2.1 Visualisierung

Der Begriff Visualisierung hat ihren Ursprung vom lateinischen „visualis“, das „zum Sehen gehörig“ bedeutet. WARD et al. [WAR-10, S.1] definiert den Terminus Visualisierung als die Übermittlung von Informationen mittels grafischer Darstellungen.

MACH [MAC-00] definiert Visualisierung folgendermaßen:

Allgemein betrachtet, kann man unter Visualisierung die Darstellung eines Sachverhaltes, einer Idee oder geistigen Vision in eine für die menschliche Vorstellungskraft und das menschliche Auge sichtbare Form verstehen.

In Visualisierungen ist die Verwendung von grafischen Primitiva (Punkte, Linien, Flächen und Volumen) deutlich erkennbar. Neben der Verwendung solcher grafischer Primitiva ist der wichtigste Aspekt aller Visualisierungen deren Anbindung an Daten. Die Computergrafik konzentriert sich hauptsächlich auf

grafische Objekte und die Organisation der graphischen Primitiva; Visualisierungen gehen einen Schritt weiter und basieren auf den zugrunde liegenden Daten, und können somit die räumliche Position und physikalische Messungen umfassen. Folglich ist die Visualisierung eine grafische Anwendung zur Darstellung von Daten, durch die Visualisierung von Daten auf grafischen Primitiva. [WAR-10, S.22]

Im nächsten Kapitel leitet der allgemeine Begriff der Visualisierung auf den spezifischen Begriff der Geovisualisierung über.

2.2 Geovisualisierung

Die Geovisualisierung als eine Spezialform der allgemeinen Visualisierung – nämlich der Visualisierung von Geoinformationen – entstand aus den Bemühungen in den 1980er-Jahren, um die immer größer werdenden Datenmengen wissenschaftlich visualisieren zu können. CRAMPTON [CRA-02, S.85] definiert den Begriff der Geovisualisierung als *„a method and approach for the visualization of geographic data in order to explore patterns, generate hypotheses, recognize connections or disruptions, and identify trends“*; also als eine Methode und ein Ansatz für die Visualisierung von geographischen Daten, um Muster zu erforschen, Hypothesen aufzustellen, Verbindungen oder Lücken zu erkennen und Trends zu identifizieren. Eine etwas andere Sichtweise verfolgt MacEACHREN et al. (1999). Er sieht in der Geovisualisierung die Verwendung von konkreten visuellen Darstellungen und den menschlichen visuellen Fähigkeiten, um raumbezogene Zusammenhänge und Probleme darzustellen. Durch Einbeziehung der geographischen Dimension in den Visualisierungsprozess erleichtert die Geovisualisierung die Identifikation und Interpretation von räumlichen Mustern und Beziehungen in komplexen geographischen Daten. [KWA-03, S.3]

Der Begriff „Geovisualisierung“ ergab sich für die Geowissenschaften aus unterschiedlichen Forschungsansätzen. Geovisualisierung integriert Ansätze aus

der Visualisierung des wissenschaftlichen Rechnens (*visualization in scientific computing* (ViSC)), der Kartographie, Bildverarbeitung, Informationsvisualisierung, explorativer Datenanalyse und Geographischer Informationssysteme (GIS)¹, um Theorien, Methoden und Werkzeuge für die visuelle Exploration, Analyse, Synthese und Präsentation von raumbezogenen Daten zu liefern, so MacEACHREN & KRAAK [EAC-01, S.1]. Eine genauere Darstellung zu dieser Möglichkeit der Klassifizierung von Visualisierungszwecken erläutern MacEACHREN & KRAAK [EAC-97, S. 337f]:

- *Exploration*: Erkundung (Erforschung) von Strukturen und Prozessen, eng verknüpft mit Kognition (Erkennen) und Explanatation (Erklärung), i.d.R. hypothesenfreies Herangehen.
- *Analyse* von Beziehungen in den Daten sowie Verifizierung bzw. Falsifizierung von Hypothesen.
- *Synthese*: Präsentation bzw. Zusammenstellung eines oder mehrerer Datensätze in ganzem Umfang und Komplexität.
- *Präsentation*: Kommunikation einer (generellen) Message in einer vorgefertigten Art und Weise.

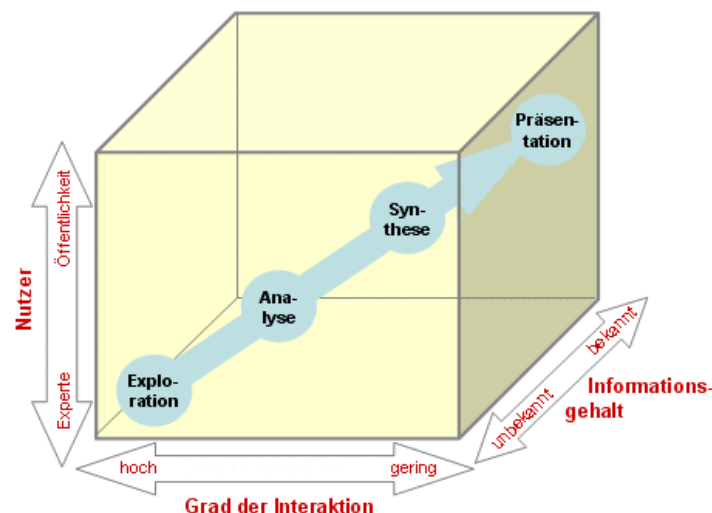


Abbildung 1: Die Zwecke der Geovisualisierung anhand des „map use cube“ nach MacEACHREN & KRAAK [EAC-97, S.338]

¹ Ein Geo-Informationssystem (GIS) ist ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software und Daten besteht und mit dem sich raumbezogene Problemstellungen in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten modellieren und bearbeiten lassen. [BIL-10, S.8]

Die vier genannten Zwecke werden oftmals im sogenannten „map use cube“ nach MacEACHREN & KRAAK dargestellt, wie anhand Abbildung 1 zu sehen ist.

KRAAK [KRA-02, S. 391] meint zudem, dass in einer Geovisualisierungs-umgebung Karten dazu verwendet werden, um das visuelle Denken über raumbezogene Muster, Beziehungen und Trends zu stimulieren.

Historische Entwicklung der Geovisualisierung

Erstmals Erwähnung in der kartographischen Fachliteratur fand der Begriff Geovisualisierung 1953 in einem Artikel von Allen K. Philbrick, einem Geograph an der Universität von Chicago.

Die Entstehung des Digitalen Geländemodells am MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) Ende der 50er-Jahre markierte den Beginn für die raumbezogene digitale Datenverarbeitung. Verwendung fanden die Digitalen Geländemodelle damals für die Trassenplanung von Verkehrswegen. [BIL-10, S.15]

Die digitale Bildverarbeitung als Hilfswerkzeug für Visualisierungen entwickelte sich in den 60er-Jahren zu einer eigenständigen Disziplin. Verstärkt zum Einsatz kam die digitale Bildverarbeitung bei der Auswertung von Weltraumaufnahmen. [BIL-10, S.16]

Anfang der 70er-Jahre startete die Computergrafik ausgehend auf der technologischen Entwicklung der Rastergraphik-Hardware. Erste erfolgreiche Anwendung fand diese neue Disziplin in der wissenschaftlichen und der High-End-Domäne. Im Vordergrund, so BILL [BIL-10, S.16], standen die Entwicklung von Algorithmen und Datenstrukturen für fotorealistische Bildsynthese und 3D-Modellierung von Objekten. Einige dieser Entwicklungen sind heute noch immer Grundlagen für heute benutzte Verfahren (z.B. Ray-Tracing) und Anwendungen (z.B. CAD-Systeme²).

² Der Begriff „CAD“ als Abkürzung für das englische „Computer-Aided Design“ resp. „Computer-Aided Drawing“ kann als Rechnergestütztes Zeichnen/Entwerfen übersetzt werden. [BIL-10, S.42]

Die Kartographie erkannte in diesem Jahrzehnt die Möglichkeiten dieser neuen Entwicklungen und benutzte zunehmend mehr die Methoden der EDV. Der Begriff CAD-Kartographie wurde in dieser Zeit geprägt.

Für die Visualisierung von Geodaten hat sich die Darstellung und Analyse von geographischen Phänomenen anfangs weitgehend auf die 2. Dimension beschränkt. Obwohl 3D-Visualisierungsprogramme mit erweiterter 3D-Modellierung und Rendering-Möglichkeiten schon viele Jahre verfügbar waren, wurden diese Techniken weitgehend in Gebieten außerhalb des GIS-Bereiches angewendet (Sheppard 1999). Geographische Informationssysteme erkannten erst später die Möglichkeit geographische Daten dreidimensional zu visualisieren (siehe Kapitel 2.5.3: *3D-Geovisualisierung*). [KWA-03, S.3]

Die 80er-Jahre haben der Computervisualisierung und Computerkartographie zum Durchbruch verholfen. Einige Komponenten spielten als entscheidende Impulse dafür eine Rolle. Die steigende numerische Rechenleistung der Digitalrechner war es zu verdanken, dass die Berechnung umfangreicher Datenmengen auf Grundlage von Simulationsmodellen möglich war. Ein weiterer wichtiger Impuls waren hardware-technische Entwicklungen im Bereich der Mikroelektronik, damit leistungsfähigere und fortlaufend preiswerter werdende Hardware auf dem Markt kamen. Zu guter Letzt standen dem Anwender ab Mitte der 80er-Jahre immer mehr computer-grafische Softwareprodukte zur Verfügung. [GEO-11a]

Die Geovisualisierung etablierte sich als eigenes Forschungsfeld ab den frühen 80er-Jahren, basierend weitgehend auf der Arbeit vom französischen Geograph Jacques Bertin.

In den 90er-Jahren erlebten Computervisualisierungen und Geo-Informationssysteme einen fulminanten Aufschwung. Dies war bedingt durch die Visualisierung auch großer Datenmengen auf handelsüblichen PCs sowie durch die Etablierung der Desktop-GIS ab Mitte der 90er-Jahre. BILL [BIL-10, S.16] bezeichnet die Desktop-GIS *„als allgemein akzeptierte Instrumente zur Verarbeitung raumbezogener Informationen“*.

Ab dem Jahr 2000 war es dann aufgrund der immer besser werdenden Hardwareleistungen möglich Visualisierungen großer Datenmengen auch auf handelsüblichen PCs vorzunehmen. Hinzu kam die immer größere Verfügbarkeit von Softwareprodukten in Form von GIS, Fernerkundung oder CAD. Der Einsatz von 3D und Virtual Reality im GIS-Bereich prägten vor allem die letzten Jahre.

2.3 2D-Visualisierung versus 3D-Visualisierung

Eine Unterscheidung zwischen den Arten von Visualisierungen erfolgt auch in der Art ihrer Dimensionalität. MACH [MAC-00] unterteilt die Visualisierung in die zweidimensionale (2D)-Visualisierung und dreidimensionale (3D)-Visualisierung. Welche Dimension für eine Visualisierung Anwendung findet, wird problembezogen entschieden.

2.3.1 2D-Visualisierung

Die 2D-Visualisierung von Abbildungen ist das klassische Modell zur Darstellung. Die Fotografie bildet etwas, das in der Wirklichkeit dreidimensional sein kann, immer zweidimensional ab. [MAC-00]

Laut SCHUMANN [SCH-00, S. 175f] sind 2-dimensionale graphische Darstellungen aus 2-dimensionalen grafischen Elementen aufgebaut. Bei der Ausgabe dieser Elemente müssen somit keine Projektionen und Sichtbarkeitsberechnungen durchgeführt werden. Auf Grund eines fehlenden 3D-Raumes treten keine Verdeckungen der Elemente auf, sofern diese sich nicht gegenseitig überlagern. Bei der Visualisierung der Daten werden in der Regel keine hohen Leistungsanforderungen an Hard- und Software gestellt. [SCH-00, S.175f]

2.3.2 3D-Visualisierung

Die 3D-Visualisierung (siehe vertiefend Kapitel 2.5) mit Hilfe des Computers bietet hingegen neue Möglichkeiten, die über die der klassischen 2D-Visualisierung hinausgehen. [MAC-00]

Nach SCHUMANN [SCH-00, S. 175f] bestehen 3-dimensionale grafische Darstellungen aus 3-dimensionalen grafischen Elementen. Diese Elemente müssen bei der Ausgabe projiziert werden, wobei perspektivischen Verzerrungen und Verdeckungen vorkommen können. Die Verwendung eines 3-dimensionalen Raumes eröffnet viele neue Möglichkeiten und Vorteile für die Visualisierung. Dies kann zum einem nützlich, und oftmals sogar auch notwendig sein, da wir in einer dreidimensionalen Umwelt leben und es gewohnt sind Dinge dreidimensional interpretieren zu können. [SCH-00, S. 175f]

Die Grundlagen der 3. Dimension und somit die Basis für 3D-Visualisierungen werden im Folgekapitel erörtert.

2.4 Die Grundlagen der 3. Dimension

Um auf die Bedeutung und Verwendung der 3. Dimension in Visualisierungen einzugehen (siehe Kapitel 2.5: *Die Bedeutung von 3D für die Visualisierung*), sollen vorerst in diesem Kapitel die Grundlagen der 3. Dimension behandelt werden. Zuerst sollen die grundlegenden Begrifflichkeiten der Dimensionen und des 3D-Raums kurz erläutert werden. Im Anschluss wird auf die 3D-Modellierung eingegangen und die wesentlichsten 3D-Elemente sowie ihre Manipulationsmöglichkeiten beschrieben.

2.4.1 Definition der Dimensionen

In einem GIS wird hinsichtlich der Daten zwischen einer geometrischen, topologischen und thematischen Dimension differenziert. BILL [BIL-10, S. 24ff] klassifiziert die geometrischen Dimensionen in einem GIS folgendermaßen:

- *Zweidimensional (2D):*

Die Geometriedaten beziehen sich lediglich auf die x, y – Koordinaten (Planimetrie) und besitzen keine Höhenangaben.

- *Zweieinhalbdimensional (2,5D):*

Zusätzlich zur Lagegeometrie wird die Höhe z als Attribut gespeichert.

- *Dreidimensional (3D):*

Die x, y, z – Koordinaten sind in ausreichender Dichte gänzlich für das gesamte Teilgebiet abgespeichert. Dabei ist hinsichtlich eines 3D-Linienmodells, eines 3D-Flächenmodells und eines 3D-Volumenmodells zu unterscheiden. 3D-Linienmodelle können z. B. durch Kopplung von Höhenlinien mit dem Grundriss verhältnismäßig einfach realisiert werden. Für dreidimensionale Flächen- und Volumenmodelle besteht hingegen ein höherer Aufwand. 3D-Flächenmodelle basieren auf ebene Flächenelemente, z.B. auf ebene Vielecke. Ein 3D-Volumenmodell beschreibt z. B. ein komplexes Modell durch Teilkörper, aus denen es aufgebaut ist. Hierbei lassen sich zum Aufbauen der Volumenmodelle die Boole'schen Operatoren Addition, Subtraktion und Durchschnitt anwenden.

- *Vierdimensional (4D):*

Neben den x, y, z – Koordinaten kommt noch der Zeitparameter t hinzu. BILL [BIL-10, S.193] meint zum Aspekt Zeit als vierte Dimension im GIS, dass die Zeit für geographische Daten eine primäre Charakteristik darstellt. Denn, führt BILL [BIL-10, S.193] weiter an, „*[u]nsere Umwelt ist dynamisch und jedes Objekt, jedes Phänomen oder jeder Prozess innerhalb dieser Umwelt hat eine Vergangenheit, eine Gegenwart und eine Zukunft. Der Ausdruck „Prozess“ deutet bereits Veränderung in der Zeit an*“.

2.4.2 Der 3D-Raum

Werden Objekte und dergleichen am Computer mittels 3D-Software dreidimensional erzeugt, so befinden sich diese in einer dreidimensionalen virtuellen Welt, welche ihre Grenzen hat und sich über Koordinatensysteme in Länge, Breite und Höhe beschreiben lässt. Sogenannte Ansichtsfenster in der 3D-Software sollen dazu dienen, um sich in der dreidimensionalen Welt am Computer zu bewegen und sich darin zurechtzufinden. Diese Ansichtsfenster helfen mit beispielsweise einer Draufsicht oder einer Perspektivansicht einen besseren Eindruck des Dargestellten zu erhalten. Zudem geben die verschiedenen Ansichten dem Benutzer die Kontrolle über die Anzeige und Art der am Bildschirm ausgegebenen Objekte und Szenen. [MAC-00]

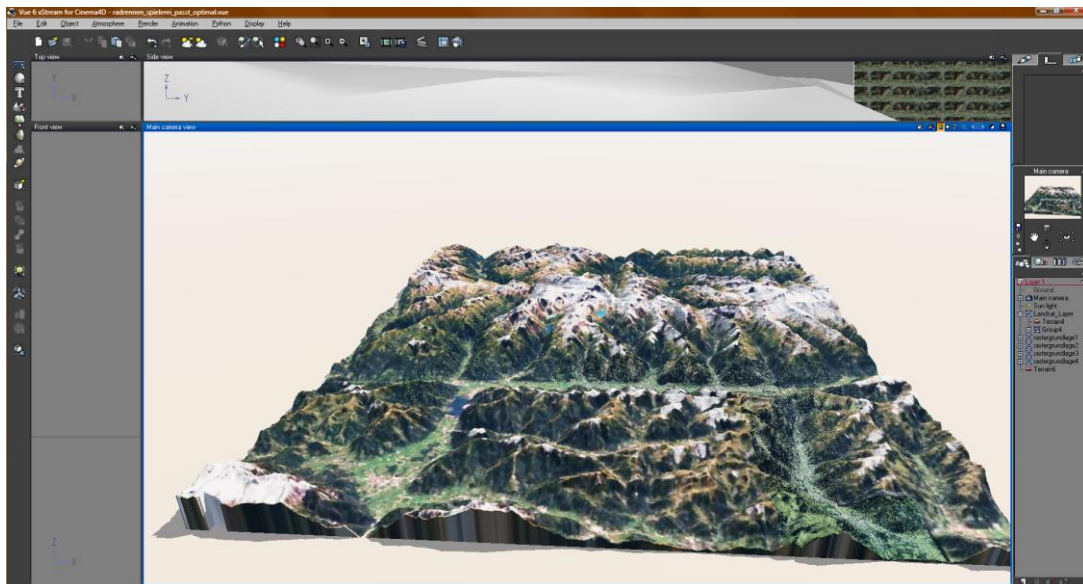


Abbildung 2: Typisches Ansichtsfenster einer 3D-Software (eigene Quelle)

MACH [MAC-00] führt weiter an, dass in der Regel für die Arbeit im dreidimensionalen Raum das kartesische Koordinatensystem verwendet wird. Das Koordinatensystem und seine Orientierung im Raum orientieren sich dabei nach der „Rechte-Hand-Regel“. Dabei wird - wie in Abbildung 3 zu sehen - ist die rechte Hand mit dem Handrücken nach unten so gehalten, dass der Mittelfinger nach oben zeigt und somit die positive z-Achse repräsentiert. Zeigefinger und Daumen liegen eben und stellen die positiven x- und y-Achsen im Koordinatensystem dar.

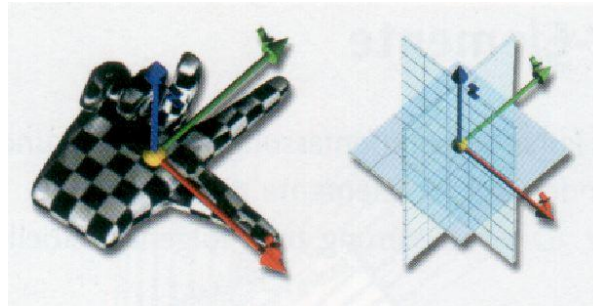


Abbildung 3: Rechte-Hand-Regel und Weltkoordinaten [MAC-00, S.39]

2.4.3 Arten der 3D-Modellierung

MACH [MAC-00, S. 41] stellt fest, dass eine echte dreidimensionale Darstellung eine Konstruktion von Körpern im Raum bedeutet, die über jede beliebige Oberfläche verfügen können. Eine Unterscheidung erfolgt in Draht-, Flächen- und Volumenmodellierung.

Die *Kanten-* oder *Drahtmodellierung* (engl. *Wireframe*) beschreibt 3D-Objekte in einer skelettartigen Form, welche aus Punkten und Linien besteht. Ein Drahtmodell weist keine Oberflächen auf. Die meisten 3D-Softwareprogramme bieten die Möglichkeit in einem sogenannten Drahtmodellmodus als Konstruktionsansicht zu modellieren. Diese Darstellungsart verbraucht weniger Grafikspeicher als mit Materialien versehene Objekte. [MAC-00, S.42]

Bei der *Flächen-* oder *Maschenmodellierung* (engl. *Mesh, Surface*) werden dreidimensionale Objekte über ihre Oberfläche definiert und beschrieben. Gearbeitet wird meist auf Basis ebener Flächen unter Verwendung polygonaler Netze. Flächenmodellierte Objekte können keine Volumeneigenschaften besitzen. In der Regel sind ihre Oberflächen aus Drei- und Vierecken bzw. n-eckigen, geschlossenen Polygonen aufgebaut. [MAC-00, S.42]

Mit *Volumen-* oder *Körpermodellierung* (engl. *Solid*) ist es möglich, Objekten auch Eigenschaften wie beispielsweise Volumen mitzugeben. Mittels Boole'scher Operationen lassen sich Körper verschneiden oder ergänzen und ergeben jeweils wieder definierte Körper als Ergebnis. [MAC-00, S.42-43]

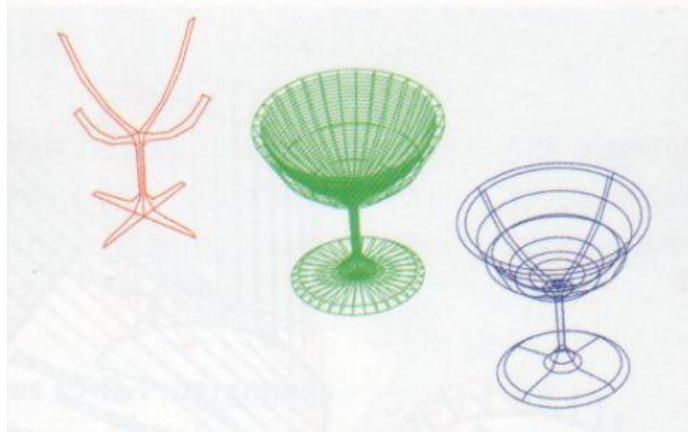
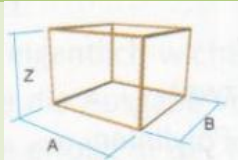
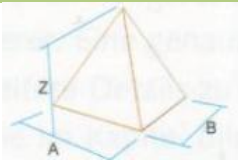
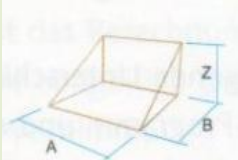


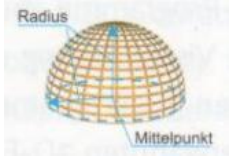
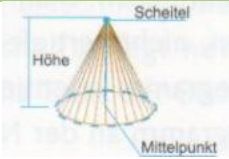
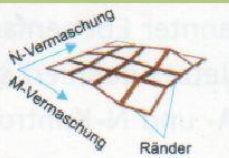
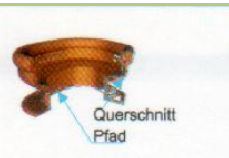
Abbildung 4: Drei Arten der 3D-Modellierung: Drahtmodell, Flächenmodell, Volumenmodell [MAC-00, S.42]

2.4.4 3D-Elemente

In einer 3D-Umgebung gibt es unterschiedliche dreidimensionale geometrische Gebilde. Tabelle 1 stellt die grundlegenden 3D-Elemente einer 3D-Software dar.

Tabelle 1: Grundlegende 3D-Elemente (eigene Bearbeitung nach MACH [MAC-00, S.43-44])

Element	Symbol	Definition
Quader		Der Quader hat als Grundfläche ein Rechteck und eine zugewiesene Höhe Z.
Pyramide		Oberfläche, die durch ein Vieleck als Basis definiert ist, dessen Endpunkte sich in einem Punkt lotrecht zur Basis treffen. Die Seitenflächen sind gleichseitige Dreiecke.
Prismoid, Keil		Der Keil hat eine rechteckige Basis und die einer Seite zugewiesene Höhe.

Kuppel		Die offene Oberfläche einer Halbkugel wird durch ihren Mittelpunkt und ihren Radius definiert.
Kugel		Oberfläche, die durch ihren Radius und ihren Mittelpunkt definiert ist.
Kegel		Oberfläche, deren Grundfläche durch einen Kreis oder eine Ellipse definiert ist und sich zu einem Punkt lotrecht zur Grundfläche verjüngt.
Torus		Ringförmige Oberfläche, ähnlich dem Schlauch eines Reifens.
Netz		Netzmatrix mit definierten Randbedingungen und festgelegter Maschenweite.
Extrusionskörper		Extrusion eines geschlossenen Querschnitts durch Zuweisung einer Höhe oder entlang eines beliebigen Pfades.
Rotationskörper		Um eine festgelegte Achse wird ein Querschnitt mit definierter Winkelangabe rotiert.
Regeloberflächen		Eine Oberfläche zwischen zwei begrenzenden Linien oder Polylinien.

2.4.5 Manipulationsmöglichkeiten von 3D-Elementen

Zu den Stärken eines reinen 3D-Programms zählt die Fähigkeit der interaktiven oder oft parametrisierten Manipulation der generierten Objekte. MACH [MAC-00, S.46] trennt die grundlegenden Arten der Manipulation nach erzeugender Manipulation und verändernder Manipulation. Eine „erzeugende“ Manipulation bedeutet, dass durch die Veränderung von mehreren Objekten ein oder mehrere neue Objekte erzeugt werden, die sich nicht oder nur schwer durch eine reine Manipulation eines einzelnen Objektes generieren lassen. „Verändernd“ hingegen ist die Veränderung eines bestehenden Objektes ohne Zuhilfenahme eines oder weiterer Objekte. [MAC-00, S.46]

In Tabelle 2 sind grundlegende erzeugende Manipulationen eines 3D-Programmes veranschaulicht.

Tabelle 2: Grundlegende erzeugende Manipulationen eines 3D-Programms (eigene Bearbeitung nach MACH [MAC-00, S.47])

Art der Manipulation	Symbol	Definition
Grundkörper verbinden, Boole'sche Operationen		Boole'sche Operationen ermöglichen die Verschmelzung, Vereinigung Subtraktion oder Schnittmengenbildung zweier unterschiedlicher Objekte miteinander.
Morphen		Metamorphose, d.h. die Änderung, der Übergang einer physischen Form in eine andere. Eine Technik, um beim Animieren ein Objekt in ein anderes umzuwandeln.

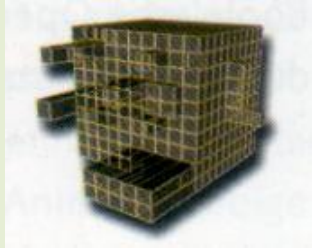
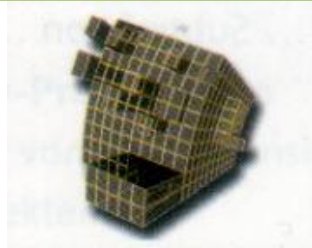
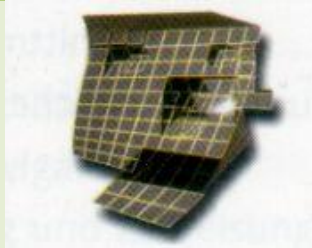
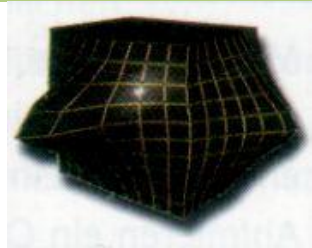
Streuen, Verteilung



Hierbei wird ein Quellobjekt beliebig über ein Verteilungsobjekt „gestreut“.

Tabelle 3 gibt grundlegende verändernde Manipulationen eines 3D-Programms wider.

Tabelle 3: Grundlegende verändernde Manipulationen eines 3D-Programmes (eigene Bearbeitung nach MACH [MAC-00, S.48])

Art der Manipulation	Symbol	Definition
Extrusion		Hierbei geht es nicht um die Erstellung eines reinen Extrusionsobjektes, sondern um die Extrusion von einzelnen Netzelementen.
Biegen		Ein Objekt lässt sich mit dieser Manipulationsart um eine beliebige Achse verbiegen.
Torsion, Verdrehung		Hiermit lässt sich das Objekt um seine lokale Achse (beliebig) drehen.
Netzmanipulation		Über die Auswahl einzelner Punkte, Kanten oder Flächen des Gitters lässt sich das Gitter unterschiedlichst bearbeiten.

2.5 Die Bedeutung von 3D für die Visualisierung

Fortschritte in der Computertechnologie und in den verfügbaren Daten ermöglichten es die 3D-Visualisierung in einer neuen Weise für die Kartographie nutzbar zu machen. Mehr als je zuvor haben Anwender die Möglichkeit mehr informationsreiche, interaktive, realistische und dynamische Visualisierungen mit Hilfe der Dreidimensionalität zu entwerfen. Dreidimensionalität als zentrales Phänomen wird durch eine zunehmende Zahl von Visualisierungsanwendungen und –systemen verwendet. Die 3D-Technologie verstärkte auch die Anwendung der Dynamik in der Visualisierung. Denn das Aufkommen der hochwertigen Echtzeit-Rendering-Techniken machte interaktive animierte Darstellungen möglich. [WOO-05, S.295ff]

Der praktische Einsatz der Dreidimensionalität in Visualisierungen bietet viele neue und unterschiedliche Möglichkeiten für die Exploration und Interaktion mit geographischen Daten. In Abhängigkeit des Anwendungsbereiches ermöglichen diese Methoden der 3D-Visualisierung zwischen verschiedenen Informations-ebenen innerhalb einer Visualisierung zu unterscheiden. Das Wissen darüber, was sich hinter, vor, über und unter oder innerhalb eines Objektes befindet, kann durch verschiedenste Techniken und Medien einer 3D-Visualisierung veranschaulicht werden. Am bekanntesten ist hierbei die Methode der Virtual Reality (VR) zu nennen, auf welches in dieser Arbeit jedoch nicht weiter eingegangen wird. [WOO-05, S.295ff]

WOOD [WOO-05, S.305] führt weiter an, dass 3D Geovisualisierung bestehende Techniken nutzt durch:

- Die Entwicklung neuartiger Darstellungsmethoden im Zusammenhang mit den neuen Medien.
- Das Schließen von Lücken innerhalb von Software-Systemen aufgrund ihrer spezifischen Anforderungen.
- Das Modifizieren von existierenden Karten für eine digitale Anwendung.

3D-Visualisierung ist vor allem mit den Entwicklungen in der 3D-Computergrafik verbunden. Aufgrund der hochkomplexen Modelle müssen Objekte in verschiedensten Detailstufen dargestellt werden, ohne dass ernsthafte Auswirkungen auf das Erscheinungsbild entstehen. Darum ist eine geometrische Vereinfachung von entscheidender Bedeutung. Worin der Nutzen von 3D-Visualisierungen liegt wird im nächsten Kapitel erläutert.

2.5.1 Nutzen von 3D-Visualisierung

Da eine 3D-Konstruktion erheblich mehr Zeit in Anspruch nimmt als ein einfacher 2D-Plan, kommt natürlich die Frage auf, wo der Sinn für 3D-Visualisierungen liegt. MACH und PETSCHEK [MAC-06, S.8f] erklären den Nutzen von 3D-Visualisierungen folgendermaßen:

- Das erstellte Modell kann von unterschiedlichen Seiten betrachtet werden.
- Die dreidimensionale Betrachtungsweise entspricht unserer natürlichen Art zu Sehen. Dies ermöglicht ein viel schnelleres Verständnis der oft komplexen Oberflächen und Geometrien.
- Eine Interaktion mit den 3D-Daten ist möglich.
- Probleme komplexer Konstruktionen können dreidimensional besser dargestellt werden.
- Viele Landschafts- und Geodaten liegen inzwischen dreidimensional vor.
- Nicht-Sachverständige können Inhalte besser verständlich gemacht werden.
- Inhalte und Konzepte lassen sich besser präsentieren und verkaufen.

Diese Auflistung zeigt die wichtigsten Punkte für die Nutzung von 3D-Visualisierungen. Den sinnvollen Einsatz und Anwendungsmöglichkeiten beschreibt das nächste Kapitel.

2.5.2 Anwendungsmöglichkeiten von 3D-Visualisierungen

3D-Visualisierungen finden immer häufiger und in den verschiedensten Bereichen Verwendung. Exemplarische Beispiele hierfür sind dreidimensionale Modelle von Werkstücken im Maschinenbau, Visualisierungen von Gebäuden in der Architektur und historischer Stätten in der Archäologie, Visualisierung ganzer Stadtteile bzw. Städte als 3D-Stadtmodelle für urbane Planungszwecke, Nutzung von 3D-Darstellungen in touristischen Projekten oder die Nutzung für 3D-Darstellung von Naturgefahren bzw. Gefahrenzonen.

Im Maschinenbau werden 3D-Visualisierungen zur Modellierung von Werkstücken genutzt, oder zur Darstellung der Bewegungsabläufe von Werkzeugmaschinen oder Robotern. Der Vorteil bei solchen Simulationen liegt im höheren Informationsgehalt und besseren Interpretation als in statischen 2D-Darstellungen.

Das Projekt „Blut und Sand – Das Leben und Sterben der Gladiatoren im römischen Österreich“ vom Ludwig Boltzmann Institut für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie (LBI-ArchPro)³ in Wien ist ein anschauliches Beispiel für 3D-Visualisierung von archäologischen Ausgrabungsstätten (siehe Abbildung 5). Mit modernster Messtechnik erkundet ein internationales Team von Archäologen, Geophysikern und Computerexperten die im Boden verborgenen römischen Überreste. Auf der Abbildung ist eine 3D-Visualisierung des Gebäudekomplexes einer Gladiatorenschule im niederösterreichischen Carnuntum abgebildet. Dieses Beispiel zeigt den Einsatz von 3D-Visualisierungen anhand von Archäologischer Ausgrabungsstätten. Ein weiteres Anwendungsbeispiel wird in Kapitel 4.3.3 *3D-Visualisierung der Meidum Pyramide* vorgestellt.

³ <http://archpro.lbg.ac.at>

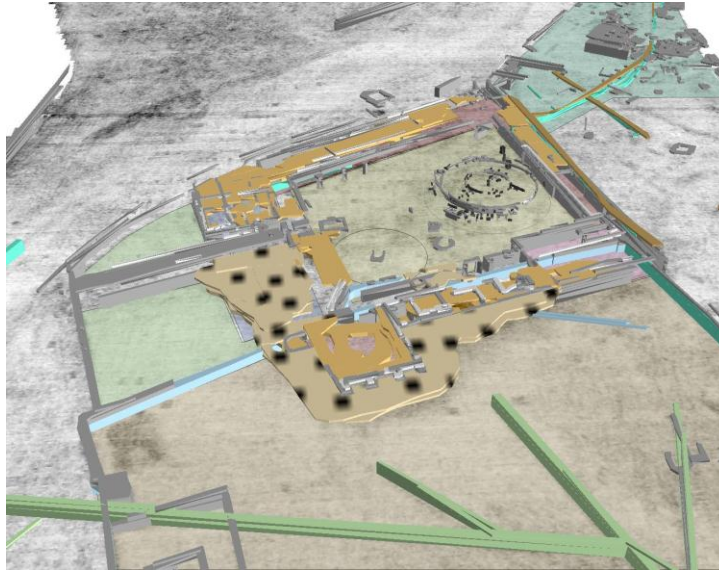


Abbildung 5: 3D-Darstellung der Gladiatorenschule in Carnuntum, Niederösterreich
(Quelle: <http://archpro.lbg.ac.at/case-studies/austria/carnuntum>)

Eine weitere Verwendungsmöglichkeit dreidimensionaler Darstellungen ist die Visualisierung ganzer Stadtteile bzw. Städte als 3D-Stadtmodelle für Planungszwecke. Nach BILL [BIL-10, S.255] stellen digitale 3D-Stadtmodelle maßstäbliche dreidimensionale Modelle einer Stadt, von Stadtteilen und einzelner Gebäude dar. Abbildung 6 zeigt ein Modell der Seestadt Aspern, einem neu entstehendem Stadtteil im 22. Wiener Gemeindebezirk. Ein Grund für das Nutzen virtueller Stadtmodelle liegt einerseits in der Visualisierung und interaktiven Begehbare nicht vorhandener Gebäude und Stadtbereiche, welche vor allem in der Standortplanung für Investoren von Interesse sind. Andererseits können räumliche Abfragen und Analysen durchgeführt werden, indem die Geometrie mit Sachdaten verknüpft wird. [BIL-10, S.255]



Abbildung 6: 3D-Visualisierung der Seestadt Aspern, Wien (Quelle: <http://www.aspern-seestadt.at/downloads/aspern-visualisierungen-fotos-plaene>)

Auf dem Gebiet der Geowissenschaften behandeln 3D-Visualisierungen beispielsweise umweltrelevante Aufgaben wie die Visualisierung von geologischen Schichten (vgl. Abbildung 7).

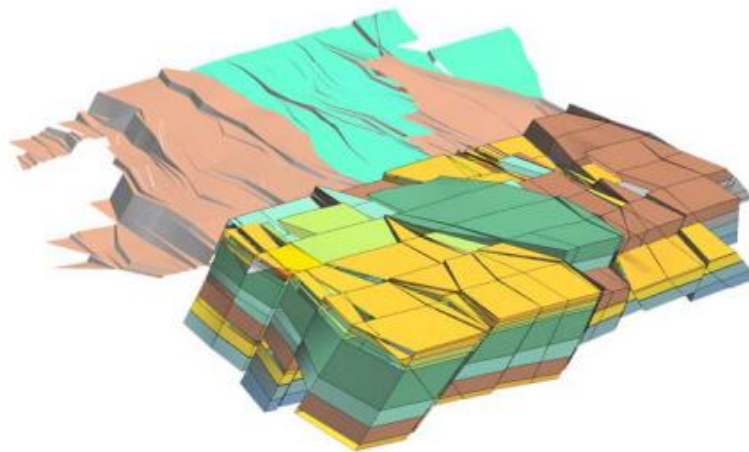


Abbildung 7: Geologisches Schichtenmodell [COO-05]

Ein weiteres Anwendungsfeld für 3D-Visualisierungen ist das Bildungssystem und dessen sinnvoller Einsatz als Präsentationen im Unterricht in Schulen und Hochschulen. Mögliche Vorteile sind nach KATTERFELD et al. [KAT-07, S.301] die direkte Präsentation von Geodaten sowie die sofortige Sichtbarkeit und besseres Verstehen der Ergebnisse. Während diese Faktoren als treibende Kräfte für die Entwicklung von 3D-GIS, 3D-Stadtmodelle und 3D-

Geovisualisierungen zu sehen sind, können diese Faktoren im E-Learning⁴ von Nutzen sein, da diese dem Anwender erlauben eine direktere Korrespondenz zur Realität zu schaffen. Im Unterricht können 3D-Visualisierungen sehr hilfreich sein bei der Vermittlung zu einem Thema, das sonst nur schwer zu sehen ist.

2.5.3 3D-Geovisualisierung

Ein weiteres Anwendungsgebiet der 3D-Visualisierung stellt die 3D-Geovisualisierung dar. Die Kombination aus Geovisualisierung, die geo-referenzierte Objekte visualisiert, mit den Techniken und Möglichkeiten einer 3D-Visualisierung machen die 3D-Geovisualisierung für einige spezielle Bereiche wie dem Umweltbereich interessant. [HIL-05, S.14]

Im Gebiet der Kartographie kann eine nichtfotorealistische Computergrafik insbesondere im Bereich der 3D-Darstellung dazu eingesetzt werden, um realitätsnahe Ansichten von 3D-Stadtmodellen und 3D-Landschaftsmodellen zu erhalten. [DÖL-03]

Die Wiedergabe in der dritten Dimension wurde im Laufe der kartographischen Geschichte, so konstatiert DICKMANN [DIC-07], mit unterschiedlichen Methoden zu bewältigen versucht, z.B. mit Schummerungen, Höhenschichten, Höhenlinien, Schraffuren oder Panorama-Darstellungen. Dabei ließen sich Probleme mit der Darstellung der dritten Dimension nicht vermeiden. So bildete beispielsweise der Erhalt der bloßen Lesbarkeit einer Karte eine Herausforderung. In erster Linie standen jedoch technische Probleme bei der Darstellung im Vordergrund, die erst mit erhöhtem Aufkommen von digitaler Technik verbessert wurden. [DIC-07]

Digitale Höhenmodelle ermöglichen heute sehr vielseitige Darstellungen von Höhenverhältnissen auf Bildschirmen. Für den Kartenbenutzer besteht dabei die Möglichkeit die Perspektive von 3D-Karten individuell zu verändern, Ansichten zu

⁴ Unter E-Learning werden – nach einer Definition von Michael Kerres – alle Formen von Lernen verstanden, bei denen elektronische oder digitale Medien für die Präsentation und Distribution von Lernmaterialien und/oder zur Unterstützung zwischenmenschlicher Kommunikation zum Einsatz kommen. [Wikipedia, 22.02.2012]

vergrößern, Informationen ein- oder ausblenden zu lassen etc. Dadurch lässt sich ein Vielfaches mehr an Informationen für den Benutzer vermitteln. [DIC-07]

Da die 3D-Geovisualisierung eine Spezialform der allgemeinen Visualisierung ist, beschreibt GEOINFORMATION.NET [GEO-04] in [HIL-07, S.15] diese mit folgenden Merkmalen:

- *Die Visualisierung erfolgt in einem dreidimensionalen (euklidischen und kartesischen) Darstellungsraum. Mathematisch ausgedrückt heißt dies, dass jeder Punkt in diesem Raum durch die Angabe dreier Koordinaten $x, y, z \in R$ beschrieben wird, wobei R die Menge der Gleitkommazahlen bezeichnet.*
- *Die zu visualisierenden Objekte liegen georeferenziert vor. Das heißt, dass die Objektkoordinaten in einem geeigneten geodätischen Referenzsystem vorgehalten werden.*

Die 3D-Geovisualisierung wird meistens nicht isoliert angewendet, sondern in Verbindung mit anderen Software-Tools wie z.B. Geoinformationssysteme oder Datenbanken.

2.5.4 Vor- und Nachteile von 3D-Geovisualisierungen

3D-Geovisualisierungen haben Vor- als auch Nachteile. Demnach bieten 3D-Geovisualisierungen nach GEOINFORMATION.NET [GEO-11b] folgende Vorteile:

- Besseres Verständnis räumlicher Zusammenhänge: Räumliche 3D-Beziehungen (z.B. die Form der Erdoberfläche, Abschattungseffekte bzgl. Sonne/Licht, Wind, Niederschlag, usw.) sind besser erkennbar als in traditionellen 2D-Darstellungen.
- Darstellung raum-zeitlicher Prozesse: zeitlich-dynamische Prozesse sind besser darstellbar, z.B. indem die Darstellung "animiert" wird (z.B. Kontinentalplattenverschiebung, Rückgang der Gletscher, Anstieg des Meeresspiegel, Ausdehnung und Rückgang der letzten Eiszeit, usw.).

- Möglichkeit der Interaktion: 3D-Geovisualisierungen bieten die Möglichkeit, mit dem Dargestellten zu interagieren (z. B. Durchwandern einer Szene, Modifikation von Objektgeometrien, Änderung von Darstellungsparametern, usw.).
- Relativ niedrige Hard- und Software-Kosten: Handelsübliche PCs reichen oftmals schon aus, um Anwendungen für 3D-Visualisierungen ablaufen zu lassen. Für viele Anwendungsbereiche ist eine halbwegs preiswerte Software verfügbar.

3D-Geovisualisierungen bieten aufgrund ihrer 3-Dimensionalität noch weitere Möglichkeiten, so können

- Unterschiedliche Datensätze visuell kombiniert werden, um neue Erkenntnisse zu gewinnen, z.B. bei Stadtklimamodellen, in der Visualisierung von Luftströmungen und eines Stadtmodells miteinander kombiniert werden;
- Nicht-Sichtbares sichtbar gemacht werden, z.B. bei der Visualisierung von geologischen Gesteinsschichten im Untergrund, die für den Betrachter nicht sichtbar sind;
- Visualisierungen erzeugt werden, die als Basis für eine bessere Kommunikation mit dem Anwender dienen sollen, z.B. um komplexe Zusammenhänge mit Hilfe von 3D-Visualisierungen auch für Laien verständlich darstellen zu können.

Dem stehen laut GEOINFORMATION.NET [GEO-11b] folgende Nachteile gegenüber:

- Teilweise teure Beschaffung von 3D-Daten: Die Beschaffung der für die 3D-Szenen benötigten geometrischen Daten kann im Einzelfall sehr aufwändig sein.
- Know-How: 3D-Programme sind für Anfänger von 3D-Anwendungen teils sehr komplex und nicht einfach zu erlernen.

- Rechenintensiv: Komplexe 3D-Visualisierungen können teilweise sehr zeit- und rechenintensiv sein.
- Software-Krise für spezialisierte Anwendungen: Für Fachanwendungen mit speziellen Erfordernissen ist teilweise noch wenig Software verfügbar. Abhilfe schafft teilweise eine Kombination von 3D-Geovisualisierungssystemen mit Produkten insbesondere aus dem GIS- oder CAD-Umfeld (wobei es zu Interoperabilitätsproblemen kommen kann).

2.5.5 Das Konzept der Virtuellen Landschaft

Da es praktisch unmöglich ist die Ergebnisse von „was wäre wenn“ Experimenten in der Realität anhand von traditioneller Karten zu beobachten, können hier Geographische Informationssysteme Abhilfe verschaffen. Virtuelle 3D-Landschaften nehmen diesen Ansatz noch einen Schritt weiter und nutzen eine perspektivische 3D-Darstellung einer physischen Umgebung. Anwender von Virtuellen Landschaften können, so KATTERFELD et al. [KAT-07, S.303]:

- Informationen durch das Navigieren in der virtuellen Landschaft direkt erkunden
- Ergebnisse von Analyse Operationen direkt in ihrem räumlichen Zusammenhang sehen
- Landschaftselemente direkt manipulieren, um so die Auswirkungen von Änderungen sichtbar machen zu können
- Und durch zusätzliche Anmerkungen und Illustrationstechniken geleitet zu werden, um eine produktive Erfahrung für den Anwender zu gewährleisten.

Solche virtuellen Landschaften sollten in den Ideen von kartographischen Anwendungen integriert werden, so die Meinung von KATTERFELD et al. [KAT-07, S.303]. Traditionelle Karten und deren Anwendung haben sich weg von statisch hin zu dynamisch verändert. PETERSON (1999) nannte diese Änderung einen Paradigmenwechsel, da diese Änderungen neue Möglichkeiten wie die

Verwendung von Geodaten im Lernumfeld mit sich brachten. Geodaten im Lernumfeld können einzeln für verschiedene Lernszenarien vorbereitet werden. Ein intelligentes Lernumfeld kann auf die Aktion eines Benutzers reagieren und ein Feedback geben, wie jeder handlungsorientierter Lernprozess. [KAT-07, S.303]

2.6 Visualisierungssoftware

Gegenwärtig gibt es eine Vielzahl verschiedenartiger Softwareprodukte für 3D-Visualisierungen am Markt. Diese unterscheiden sich hinsichtlich ihrer unterschiedlichen Visualisierungszwecke und fachlichen Aufgabenstellungen. Dieses Kapitel soll einen kurzen Überblick über die wichtigsten Software-Gruppen vermitteln. Die Bildung von unterschiedlichen Software-Gruppen variiert jedoch in den diversen Literaturen zu diesem Thema.

2.6.1 Funktionalitäten von 3D-Programmen

3D-Programme ermöglichen es, dreidimensionale Szenen zu erstellen und zu rendern, um als Ergebnis ein Bild oder eine Computeranimation zu erhalten. MACH [MAC-00, S.46] listet die Funktionalitäten von 3D-Programmen folgendermaßen auf:

- Import oder Erstellung von dreidimensionalen Szenen und Objekten
- Leichte Modifikation der importierten bzw. erstellten Objekte
- Leichte Navigation und Steuerung der Ansichten (visuelle Navigation)
- Erstellung, Bearbeitung und Zuweisung von Materialien und Oberflächen
- Simulation unterschiedlicher Beleuchtungsarten
- Erstellung von Hierarchien und kinematischen Systeme
- Generierung von Atmosphäreneffekten
- Bildberechnung via Renderer
- Videonachbearbeitung

2.6.2 Softwareprodukte

Visualisierungssoftwareprodukte können in verschiedene Gruppen unterteilt werden, je nach Zweck ihrer Verwendung und Arbeitsbereichs.

2.6.2.1 Graphiksysteme – 3D-Modellierungsprogramme

Kommerzielle Graphiksysteme werden intensiv von der Unterhaltungsindustrie genutzt. Solche Softwareprodukte ermöglichen eine professionelle Modellierung von komplexen Modellen, Animationen und Simulationen.

Bekannte Beispiele sind:

3D Studio Max von *Autodesk Inc.* Ist eine professionelle Software für Modellierung, Animation und Rendering. 3ds Max ist besonders für Spieleentwickler, Architekten, Konstrukteure, Bauingenieure und Visualisierungsexperten geeignet. [AUT-12]

CINEMA 4D von *Maxon* ist eine 3D-Grafiksoftware zum Erstellen von 3D-Modellen, Texturen, Computergrafiken und Animationen und wird nicht nur für TV-Werbungen und im privaten Bereich eingesetzt, sondern auch für Filme. [WIK-12a]

Maya von *Autodesk Inc.* (früher *Alias*) ist eine sehr verbreitete professionelle 3D-Visualisierungs- und Animationssoftware. Maya findet Einsatz bei der Erstellung von Grafiken für Computer- und Videospiele, sowie in der Architekturvisualisierung, industriellen Fertigung und in Entwicklung und Forschung. [WIK-12b]



Abbildung 8: Landschaftsvisualisierung mit CINEMA 4D [MAX-12]

2.6.2.2 3D-Visualisierungserweiterungen traditioneller GIS-Produkte

In den letzten Jahren wurden immer mehr GIS-Produkte durch 3D-Visualisierungskomponenten erweitert, welche jedoch nicht so einen großen Leistungsumfang wie professionelle 3D-Visualisierungssoftwareprodukte haben. Produkte aus dieser Gruppe kommen in einem breiten Anwendungsbereich zum Einsatz wie z.B. in der Geologie, Geophysik oder der Raumplanung.

Bekannte Vertreter in diesem Gebiet sind:

ArcGIS 3D Analyst der Firma *ESRI* stellt eine kommerzielle Erweiterung innerhalb des ArcGIS Produktes dar und bietet 3D-Visualisierungen, Analysen und Oberflächengenerierungen. Mit ArcGIS 3D Analyst können große Datenmengen dreidimensional visualisiert und von verschiedenen Sichtpunkten betrachtet werden. Weitere Bestandteile sind die Abfrage von Oberflächenwerte und Sichtbarkeitsanalysen. [ESR-12]

Imagine Virtual GIS von *Erdas* ist ein leistungsstarkes und relativ einfach zu bedienendes visuelles Analysetool, das es ermöglicht mit GIS-Funktionen in einer 3D-Umgebung zu arbeiten. [ERD-12]

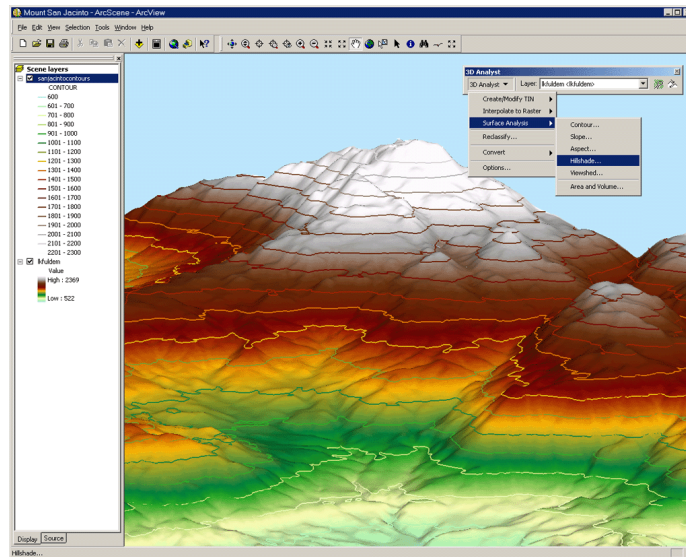


Abbildung 9: Geovisualisierung mit ArcGIS 3D Analyst (Quelle: <http://www.esri-austria.at/products/arcgis/extensions/3danalyst/overview.html>)

2.6.2.3 Terrain-Viewer

Sogenannte „Terrain Viewer“ finden primär Einsatz zur Betrachtung von Geodaten, wobei das Hauptaugenmerk vornehmlich der Erdoberfläche gilt. Häufig lassen sich auch darauf liegende Geoobjekte wie z.B. 3D-Gebäude, Vegetation oder thematische Daten darstellen. Als Anwendungsbereiche für solche Visualisierungsprodukte zählen neben militärischen Anwendungen insbesondere auch die Landschafts- und Freiraumplanung. Beispielprodukte hierfür sind **Terra Vista** (*Terrex*), **EasyScene** (*Coryphaeus*) und **TruFlite** (*Adamiker*). [GEO-12a]

2.6.2.4 Systeme zur 3D-Geländemodellierung

Softwareprodukte aus dieser Kategorie legen ihr Hauptaugenmerk im Aufbau, der Veränderung und der Analyse von Geländeoberflächen (digitaler Geländemodelle). Wichtige Anwendungsgebiete sind das Bauwesen (inkl. Straßenbau, Wasserbau, Vermessung etc.), die Freiraumplanung und die Landschaftsplanung. Der Visualisierungszweck liegt hier primär in der Analyse. Beispielprodukte hierfür sind **AutoCAD Land Development Desktop** (*Autodesk*) und **Landxpert** (*Dataflor*). [GEO-12b]

2.6.2.5 Fotorealistische Landschaftsvisualisierung

Softwareprodukte aus diesem Bereich der Visualisierung dienen zur Erstellung fotorealistisch wirkender 3D-Landschaften und kommen primär in der Landschaftsplanung zum Einsatz. Zweck der Visualisierung ist in diesem Bereich vornehmlich die Präsentation. Bekannte Vertreter dieser Produkt-Gruppe sind die 3D-Landschaftsgeneratoren **Visual Nature Studio** (3D Nature), **Bryce** (DAZ Productions) und **Vue** (E-on Software). [GEO-12c]

2.6.2.6 Geologische Schichtenmodellierung

In dieser Gruppe fallen Produkte, die für geologische und geophysikalische Anwendungen eine 3D-Darstellung und 3D-Modellierung von Objekten unterhalb der Erdoberfläche ermöglichen. Der Visualisierungszweck in diesem Anwendungsbereich liegt in der Exploration und Analyse. Beispiele hierfür sind **GoCAD** (TSurf), **GSi3D** (British Geological Survey) und **Rockworks** (Rockware). [GEO-12d]

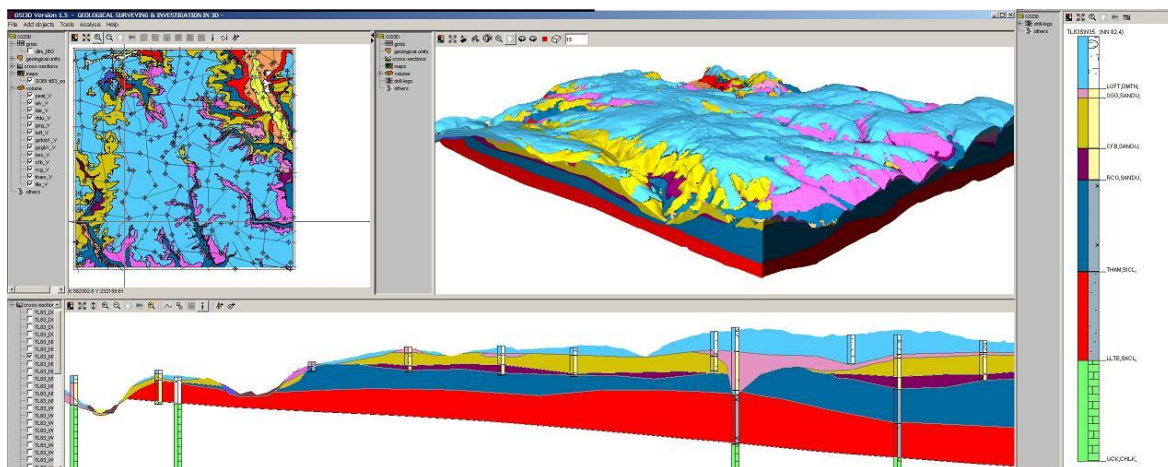


Abbildung 10: Geologische Schichtenmodellierung in GSI3D (Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/File:GSI3D_interface.jpg)

Diese Auflistung bietet keine Vollständigkeit über die am Markt erhältlichen 3D-Softwareprodukte, sondern bietet nur einen kleinen Überblick.

Dieses Kapitel widmete sich ausschließlich dem Großthema der Visualisierung. Wie nun Spezialeffekte ins Spiel kommen, beschreibt der nächste Abschnitt.

3 SPEZIALEFFEKTE

Dieser theoretische Abschnitt der Arbeit setzt sich verstärkt mit den Spezialeffekten, die in 3D-Visualisierungen eingesetzt werden können, auseinander. Zu Beginn sollen die wichtigsten Begriffe aus dem Bereich der Spezialeffekte charakterisiert werden.

Anschließend wird ein Blick auf die Grundlagen der Computergrafik und Computeranimation geworfen, da digital erzeugte Spezialeffekte auf diese grafischen Grundsätze aufbauen. Ein kurzer Abriss über die Geschichte der Computergrafik sowie der digital erzeugten Spezialeffekte soll vermitteln, wie sich digitale Spezialeffekte, so wie wir sie heute kennen, entwickelt und immer weiter verbessert haben.

Im Anschluss folgt ein Kapitel über die Grundlagen der Computeranimation sowie dessen Bedeutung für die kartographische Darstellung.

Im Kapitel der digitalen Bildbearbeitung werden zum Abschluss die Grundlagen für die dreidimensionale Bearbeitung, nämlich Modellierung, Texturierung, Beleuchtung, Animation und Rendern, erklärt.

3.1 Begriffsdefinition

Der Begriff Spezialeffekte (engl. *Special Effects*) hat seinen Ursprung im Hollywood der 1920er Jahre. In der heutigen Zeit wird häufig das Synonym *Digital Effects* benutzt.

MULACK [MUL-02] unterscheidet grundsätzlich zwischen zwei Hauptbereiche:

- *Special Effects* (auch *Practical* oder *Physical Effects*):

Hierzu zählen Spezialeffekte, die direkt vor Ort am Set gedreht werden. In diesem Fall kommen keine digitalen Methoden zum Einsatz. Beispiele für

solche während der Dreharbeiten realisierten Effekte sind Feuer, Explosionen, Wind, Regen, Schnee, chemische Effekte, Gesteinslawinen, einstürzende Gebäude usw.

- *Visual Effects* (auch *Special Visual Effects*):

Visuelle Effekte entstehen nach dem Hauptdreh und werden in der Postproduktion von Spezialisten meist mit 3D-Programmen wie z.B. *Autodesk Maya*, *3ds Max*, *Lightwave 3D*, *CINEMA 4D* u.a. erzeugt. Beispiele hierfür sind computergenerierte Bilder (Computer Generated Imagery, CGI), Modellaufnahmen, Travelling Matte, Composite Photography, Motion Control, Blue-/Greenscreen, usw.

Bisher wurden die beiden Begriffe *Special Effects* und *Visual Effects* relativ ungenau gemäß dem Alltagsverständnis gebraucht [FLÜ-08].

3.1.1 Special Effects

Eine eindeutige Definition für den Begriff *Special Effects* existiert nicht, meint FLÜCKIGER [FLÜ-08]; vielmehr wird darunter eine Reihe von Verfahren subsumiert, die von bühnentechnischen, mechanischen Effekten inklusive Pyrotechnik über optische Verfahren in der Kamera bis hin zu Techniken in der Postproduktion reichen [FLÜ-08].

Um eine gewisse Übersicht zu vermitteln, stellt FLÜCKIGER [FLÜ-08] ein klassisches Ordnungssystem der *Special Effects* vor, welche anhand ihrer zeitlichen Organisation in folgende Bereiche gegliedert sind [FLÜ-08]:

- I. Vor der Kamera

- Physical Effects, bestehend aus:
 - Mechanischen Effekten wie hydraulische Plattformen, spezielle Fahrzeuge oder präparierte Bühnenteile;
 - Pyrotechnischen Effekten wie Feuer und Explosionen;
 - Wettereffekten wie Nebel, Schnee, Regen;

- Matte Paintings, gemalte, ins Filmbild einkopierte Hintergrundbilder; und Rücksetzer, ebenfalls gemalte Hintergründe, die im Studio aufgestellt werden;
- Spiegeltricks, mit denen über einen partiell durchlässigen Spiegel Teile des Sets oder Objekte eingeblendet werden;
- Glasvorsatz, der wie Matte Paintings ebenfalls gemalte Bildteile enthält, die allerdings vor die agierenden Schauspieler und die vorhandenen Set- oder Landschaftsteile platziert werden;
- Filter, Masken, Vignetten vor dem Objektiv;
- Rück- und Frontprojektion;
- maskenbildnerische Transformationen des menschlichen Gesichts und Körpers, zum Beispiel mittels Prothesen oder anderen Applikationen;
- Lichteffekte wie Blitze oder Feuer;
- Kabeltechnik (*wire work*), bei welcher die Schauspieler von Drähten unterstützt werden, um übermenschliche Sprünge oder Drehungen auszuführen;
- einfache und elektronisch gesteuerte Puppen (*animatronics*);
- Bluescreen/Greenscreen und andere Matting-Verfahren, bei denen die Schauspieler vor monochromen Hintergründen aufgenommen werden, die man später optisch oder digital ersetzt.

II. In der Kamera

- Mehrfachbelichtungen, Über- und Unterbelichtungen;
- Zeitmanipulationen wie Zeitlupe oder Zeitraffer;
- Stopp-Trick;
- Motion Control, eine computergesteuerte Kamera, die bildgenau sämtliche Bewegungen und anderen Parameter, wie zum Beispiel Blende und Belichtungszeit, aufzeichnet und damit mehrere Durchgänge (*passes*) beim Drehen erlaubt.

III. Postproduktion

- analoge optische Verfahren wie die Kombination mehrerer unabhängig voneinander aufgenommener Bilder auf der optischen Bank;
- Wandermasken (*travelling mattes*), die auf der Basis von Blue- oder Greenscreen-Aufnahmen hergestellt werden und die Kombination von bewegten Vordergrund- mit Hintergrundbildern erlauben;
- digitale Verfahren der Bilderzeugung, sogenannte computergenerierte Bilder (*computer generated imagery*, kurz CGI);
- digitale Verfahren der Bildbearbeitung wie *Compositing*, die Verknüpfung von mehreren Bildteilen zu einem Ganzen, und *Image Processing*, die Veränderung von Bildern mittels Filtern oder komplexeren Programmen.

3.1.2 Visual Effects

Die letzten beiden genannten digitalen Prozesse bilden die Visual Effects – kurz VFX – im engeren Sinn. In dieser Arbeit liegt der Fokus in erster Linie auf die digitalen Spezialeffekten. Nach MULACK [MUL-02] eröffnen digitale Visual Effects neue Möglichkeiten in der elektronischen Manipulation. MULACK [MUL-02, S.234] führt weiter an, dass sich einerseits reale Filmaufnahmen im Computer digital manipulieren lassen, andererseits Objekte und Bilder direkt im Rechner erzeugt werden können (engl. *Computer Generated Imagery*, CGI) und anschließend mit Realaufnahmen kombinierbar sind. Die beiden Begriffe CGI für Computer Generated Imagery und CG für Computer Graphics werden mehr oder weniger synonym gebraucht [FLÜ-08]. Der Unterschied liegt darin, dass CG eher noch zweidimensionale Computerbilder bezeichnet, CGI für die dreidimensional erzeugten Computeranimationen verwendet wird.

Für die Erstellung der digitalen Visual Effects waren die technologische Entwicklung des Computers und die damit verbundene Anwendung grafischer Grundsätze (Computergrafik, Computeranimation) von entscheidender Bedeutung. Diese Aspekte werden im Folgekapitel näher beleuchtet.

3.2 Computergrafik und Computeranimation

In der Enzyklopädie von BROCKHAUS [BRO-12a] ist der Begriff Computergrafik *„Teil der grafischen Datenverarbeitung, der sich mit der Erzeugung, Speicherung, Bearbeitung und Ausgabe von Bildern mittels Computer und grafischer Geräte befasst. Gegenstand der Computergrafik sind von Computerprogrammen generierte grafische Darstellungen, die aus bildbeschreibenden Daten abgeleitet werden. Die erforderlichen Daten werden vom Anwender eines Grafikprogrammsystems am Computer eingegeben oder mit Algorithmen vom Programm erzeugt. Wichtige Anwendungen für Computergrafiken gibt es v. a. bei CAD- und CAM-Systemen, bei geometrischen Modellierungen, Animationen sowie in der Präsentationsgrafik u. a. bei der Visualisierung statistischer Daten.“*

VINCE [VIN-00, S.15] betrachtet die Computergrafik als ein sehr breites Themenfeld, welches die Disziplinen der Bildverarbeitung, Visualisierung, Computeranimation, Computer-Aided Design (CAD) sowie Virtual Reality unterstützt.

Laut BRUGGER [BRU-94, S.28] ist eines der Ziele der Computergrafik und Computeranimation, dem Kommunikationspartner noch nicht verwertbare Daten optisch aufzubereiten und in einer visuell verständlichen Form zu vermitteln. Durch die Anwendung von Computergrafik und –animation können Daten visuell aufbereitet und als Information in einer verständlichen Form vermittelt werden. Dabei dienen fotorealistische Bilder und Computeranimationen dazu, Entscheidungen zu fällen und Vorgänge in dieser Welt besser zu verstehen und zu kontrollieren.

3.2.1 Historische Entwicklungen der Computergrafik und Computeranimation

Die Geschichte der Computergrafik und Computeranimation beginnt mit der Entstehung des ersten funktionstüchtigen programmierbaren Computer Z3, der 1941 von Konrad Zuse entwickelt wurde, so SLANSKY [SLA-04]. Ab 1950 galten die von analogen Computern gesteuerten Oszilloskop-Bilder als Vorläufer des digitalen Computerbildes. Die Funktionsweise des Oszilloskops, beschreibt FLÜCKIGER [FLÜ-08], beruht auf zwei unterschiedlichen Spannungszuständen x und y, die auf einem Kathodenstrahlbildschirm wiedergegeben werden. Ihren richtigen Anfang erlebte die Computeranimation jedoch 1951, als die erste von Computer erzeugte animierte Einstellung im US-Fernsehen vorgeführt wurde. Der erste elektronisch ausgestattete Animations-Computer hatte den Namen „Whirlwind“ und stand am MIT in Boston und füllte einen ganzen Raum aus. Charly Adams entwickelte mit dem „Whirlwind-Computer“ ein Programm, das einen hüpfenden Ball in Echtzeit berechnen und darstellen konnte. Dies gilt sowohl als erste Computergrafik als auch erste Computeranimation, erzählt JACKÈL [JAC-06, S.3].



Abbildung 11: Der erste Animationscomputer „Whirlwind“ (Quelle: <http://www.clavius.info/img/whirlwind-computer.jpg>)

In den folgenden Jahren wurden die Computer immer kleiner und schneller und durch die Serienanfertigung auch wesentlich billiger. Animationen von zweidimensionalen grafischen Mustern, einfache Figurenanimationen und weitere künstlerische Experimente zeigten die ersten Möglichkeiten der digitalen Bilderwelten auf, setzt SLANSKY [SLA-04] weiter fort. In den 1960er Jahren

wurde die Technologie der Computergrafik speziell in den USA von Luft- und Raumfahrt sowie militärischen Forschungsinstituten immer stärker vorangetrieben. 1963 erzeugte Edward E. Zajac, ein Wissenschaftler von den *Bell Telephone Laboratories*, den ersten computergenerierten Animationsfilm über die Bewegung und Eigendrehung eines Erdsatelliten im Weltraum [GIE-00]. Die Entstehung des Forschungsgebiets der Computergrafik und deren technologischer Weiterentwicklung ist eng verbunden mit dem Namen des amerikanischen Computerwissenschaftlers Ivan Sutherland. Bekannt wurde Sutherland für die Erfindung der ersten interaktiven Grafikanwendung *Sketchpad*, die er während seiner Dissertation 1964 am MIT entwickelte [GEI-99]. Sutherlands *Sketchpad* war das erste interaktiv arbeitende CAD-System, so JACKËL [JAC-06, S.3]. Das *Sketchpad* bestand aus einem Röhrenbildschirm und einem Lichtgriffel als Eingabewerkzeug zur Interaktion mit dem Computer. Diese Kombination aus Hard- und Software gilt als Vorläufer des GUI (*Graphical User Interface*), ein Standardinterface, welches heutzutage auf jeden kommerziellen Rechner implementiert ist. Die Computergrafik wurde damals durch das *Sketchpad* revolutioniert, da es den Umgang der Menschen mit Computern in Bezug auf deren Interaktion komplett veränderte, so FLÜCKIGER [FLÜ-08].

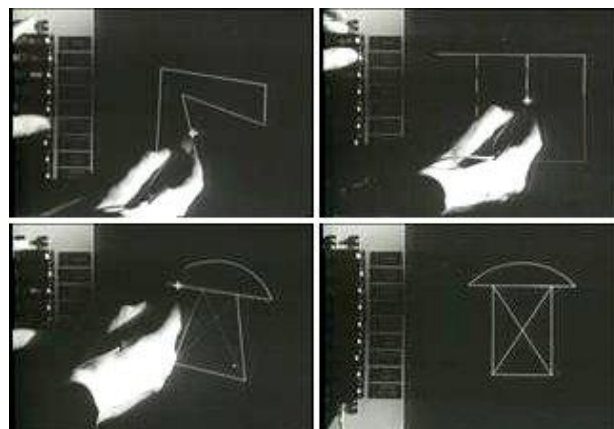


Abbildung 12: Ivan Sutherland demonstriert das Skechpad (Quelle: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sketchpad-Apple.jpg>)

Eines der größten Probleme zu Beginn, führt MEGLIN [MEG-00] an, war die fehlende Raamtiefe der Computergrafiken. Eine räumliche Wirkung war kaum auszumachen, da alle abgebildeten Flächen optisch auf einer Fläche lagen.

Dieses Problem wurde 1969 gelöst, indem ein Prozess entwickelt wurde, mit dessen Hilfe Oberflächen, welche optisch durch andere Flächen überdeckt waren, nicht abgebildet wurden. Ab Anfang der siebziger Jahre erfolgte der nächste Fortschritt in der Computergrafik. In einfacher Form konnte nun das Verhalten von Oberflächen bei Lichteinfall auf dem Bildschirm visuell simuliert werden. Dies verstärkte den räumlichen Eindruck, doch fehlte noch zur besseren Wahrnehmung eine spezifische Textur. Realistischer wurden die anfangs wie Plastik aussehenden Darstellungen, als Ed Catmull im Jahr 1975 ein Verfahren entwickelte, bei dem zweidimensionale Abbildungen oder Muster als Oberflächenstruktur (Textur) auf dreidimensionale computergenerierte Objekte gelegt werden konnten. [MEG-00]

An der Universität von Utah entstand im gleichen Jahr der *Teapot* von Martin Newell. Hierbei handelt es sich um eines der ältesten und bekanntesten 3D-Modelle der Computergrafik. Die Technik des Modellierens basierte auf das Vermessen und Abzeichnen der Teekanne, woraus dann wichtige Punkte mit Koordinaten versehen wurden, die dann in den Computer eingegeben wurden. Die einzelnen Punkte wurden durch Linien verbunden und als Ergebnis entstand ein Gittermodell. Der *Utah-Teapot* wurde zu einer Ikone der damals noch jungen Computergrafik-Industrie. [MEG-00]

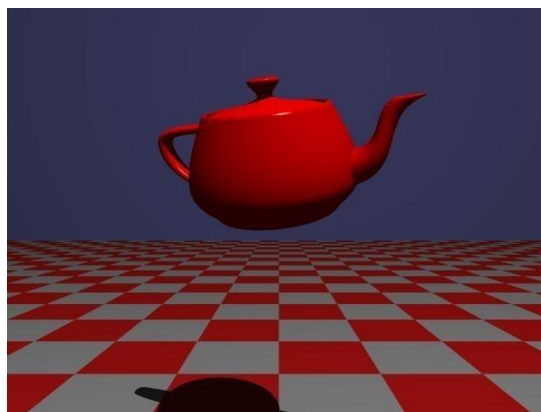


Abbildung 13: Der Utah-Teapot von Martin Newell [FLÜ-00]

Ende der 1970er Jahre begann die Ära der *Flying Logos* für diverse Fernsehanstalten. Diese im Fernsehen ausgestrahlten TV-Logos entsprachen

mit ihrem beschränkten Formenrepertoire dem damaligen State of the Art. [FLÜ-08]



Abbildung 14: Flying Logos diverser amerikanischer TV-Sender ab Ende der 70er [FLÜ-08]

Bis Anfang der achtziger Jahre verfügten ausschließlich große Forschungseinrichtungen über leistungsstarke Rechenzentren und somit die Möglichkeit, im Rechner 3D-Räume zu entwerfen. Ab Mitte der Achtziger kamen die ersten frei im Handel erhältlichen 3D-Softwareprodukte auf dem Markt; parallel dazu entwickelte sich die Hardwarebranche stetig und fand immer mehr Verbreitung. Somit war die Basis gegeben die Computeranimation als Mittel zu benutzen, um neue Märkte zu erschließen. In den folgenden Jahren hielt sich die Nachfrage nach 3D-Computeranimationen jedoch in Grenzen, das auch auf den Mangel an Fachkräfte für diese noch junge Branche zurückzuführen war. Zum Einsatz kamen 3D-Computeranimationen damals vor allem in TV-Spots und in experimentellen Kurzfilmen, welche meist von Forschungsinstitutionen finanziert wurden. [MEG-00]

Im Bereich der Musikvideos fanden 3D-Computeranimationen in den 1980er ebenso Verwendung. Beispiele hierfür sind Videos von Dire Straits (*Money for Nothing*, 1984), Kraftwerk (*Musique Non Stop*, 1986), und Mick Jagger (*Hard Woman*, 1986).

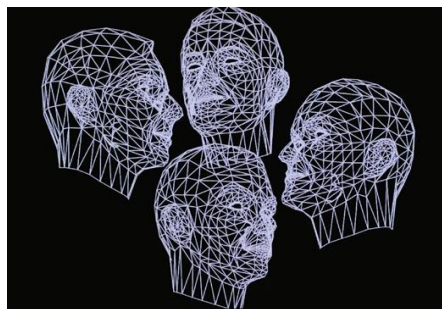


Abbildung 15: Ausschnitt aus dem Musikvideo zu *Musique Non Stop* von Kraftwerk (Quelle: http://www.dipaola.org/projects/kraftwerk87/images/kraftwerk87_image_5.jpg)

Ende der 80er Jahre entstand am Jet Propulsion Laboratory (JPL) in Kalifornien unter der Leitung von Jim Blinn eine Reihe von Computeranimationen, die den Vorbeiflug der *Voyager*- und *Pioneer*-Raumsonden an den Planeten Jupiter und Saturn simulierten und darstellten. Diese vielbeachteten Animationen, welche eine bis dahin nicht erreichte Realitätsnähe erzielten, waren die ersten unter Einsatz des zuvor von Blinn entwickelten *Bump-Mapping*, so JACKÈL [JAC-06, S.4].

Als ein weiteres Beispiel für frühe 3D-Computeranimationen führt MEGLIN [MEG-00] die Abbildung von physikalischen Naturgesetzen via Computergrafik an. Karl Sims schuf 1988 mit Hilfe des Superrechners *Connection Machine*, der mit 64000 Prozessoren bestückt war, einen künstlich animierten Wasserfall in der Kurzanimation *Particle Dreams*. Diese eineinhalb Minuten dauernde 3D-Computeranimation enthält eine Sammlung von Traumsequenzen, die mit tausenden von 3D-Partikeln erstellt wurden, um komplexe Phänomene wie eine Explosion, einen Schneesturm, einen rotierenden Kopf und einen Wasserfall modellhaft und dreidimensional darzustellen.⁵

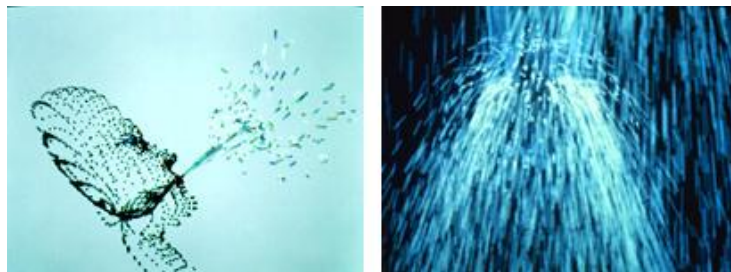


Abbildung 16: Szenen aus der Computeranimation *Particle Dreams* von Karl Sims (Quelle: <http://www.karlsims.com/particle-dreams.html>)

In *Panspermia* erzeugte Karl Sims 1990 künstliche Welten mit einer Animation wachsender Pflanzenwelten auf einem fremden Planeten. Das Ergebnis wirkte jedoch zu künstlich und unwirklich, womit die Animation von der breiten Öffentlichkeit größtenteils ignoriert wurde. [MEG-00]

⁵ <http://www.karlsims.com/particle-dreams.html> [17.08.2011, 13:30]

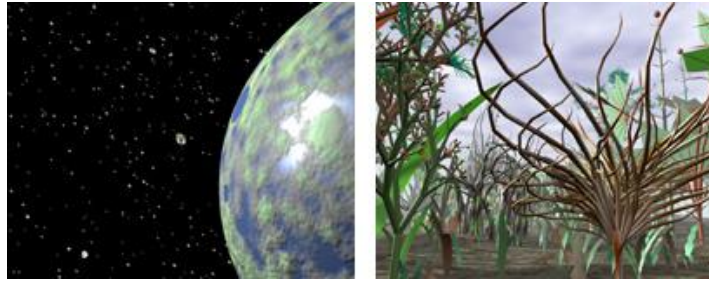


Abbildung 17: Digitale Evolution von Pflanzenwelten in *Panspermia* (Quelle: <http://www.karlsims.com/panspermia.html>)

KERLOW [KER-04] schreibt, dass der Anfang der 1990er Jahre geprägt waren durch raffinierte Beispiele für Computeranimationen sowie durch die erfolgreiche Wiederbelebung der computeranimierten Spezialeffekte für Spielfilme. Dreidimensionale Computeranimationen begannen während dieser Zeit sehr komplex zu werden, voller unterschiedlicher Stile und Techniken. Bis zur Mitte des Jahrzehnts wurden 3D-Computeranimationen zu einem reifen und spezialisierten Gebiet, welches schlussendlich eine breite Anerkennung fand. Im Allgemeinen bestand für Computer-Animatoren eine große Nachfrage aufgrund der erhöhten Produktion von Visuellen Effektfilmen, animierten Filmen und Fernsehserien, sowie Computer- und Konsolenspiele.

Der Einsatz von Spezialeffekte in der Filmbranche wird im nächsten Kapitel behandelt.

3.2.2 Geschichte der Special Visual Effects aus dem Computer

In *Star Wars* tauchten 1977 erste CGI-Effekte auch auf der Kinoleinwand auf, in denen innerhalb einer Szene eine 40 Sekunden lange computererzeugte 3D-Animation des „Todessterns“ zu sehen ist, wenn auch nur in Form von Vektor- und Drahtgitter.

1980 wurden auf der Computergrafik-Fachmesse SIGGRAPH⁶ erste Szenen der als Spielfilm geplanten computeranimierten Zukunftsvision *The Works* vorgestellt. Ein Team von Forschern nahm im Jahr davor am New York Institute of Technology (NYIT) die Arbeit an diesem Filmprojekt auf [FLÜ-08]. *The Works*

⁶Special Interest Group on Graphics and Interactive Techniques. www.siggraph.org

wäre der erste komplett im Computer erzeugte und animierte Spielfilm geworden, jedoch wurde das Projekt 1983 aus Kostengründen eingestellt [MEG-00]. *The Works* war letztendendes mehr als ein Testfeld für die Computeranimation und ihre Macher zu sehen, in dessen Verlauf jedoch wertvolle Erfahrungen mit dem neuen Medium und den damit verbundenen Möglichkeiten gewonnen wurden. [FLÜ-08]



Abbildung 18: Mechanische Ameise aus dem Animationsfilm *The Works* (Quelle: http://www.cs.cmu.edu/~ph/nyit/ant_interior.jpeg)

1981 erhielten zwei Experten der Abteilung am NYIT, Ed Catmull und Alvy Ray Smith, erstmals die Chance eine voll computeranimierte Sequenz für den Spielfilm *Star Trek II* herzustellen. Im sogenannten *Genesis-Effekt* umkreist eine Kamera in einer ca. einminütigen Sequenz einen kargen, leblosen Planeten, während sich in der Zwischenzeit die Oberfläche in eine paradiesische grüne Landschaft verwandelt. Mit dem *Genesis-Effekt* wurde zum ersten Mal eine komplett mit dem Computer animierte Szene in einem Spielfilm eingesetzt. Die zehn Computergrafiker unter der Führung von Ed Catmull arbeiteten rund sechs Monate an dieser einminütigen Szene. Aus dieser Abteilung sollte später die Computeranimationsfirma *Pixar* hervorgehen.⁷

Den ersten, jedoch eher erfolglosen, Durchbruch für computergenerierte digitale Effekte in Kinofilmen gelang den Spielfilmen *Tron* (1982) und *The Last Starfighter* (1984). Im Disney-Film *Tron* findet die Handlung weitgehend in einer Fantasywelt innerhalb eines Computers statt [VIN-03, S.99]. *Tron* war der erste Spielfilm mit über 20 Minuten computergenerierten Szenen, welche mit Live-Action Szenen

⁷ http://de.wikipedia.org/wiki/Star_Trek_II:_Der_Zorn_des_Khan [15.09.2011]

kombiniert wurden [KER-04]. Sämtliche Bewegungen der animierten Szenen mussten die Computerspezialisten durch das Festlegen von Koordinaten und Ausrichtung hart koordinieren, also präzise Werte definieren. Animation aus dem Computer war damals noch ein überaus technischer Vorgang [FLÜ-08]. Technisch als Triumph gefeiert, kamen die künstliche Welten des Films aus dem Hause Disney jedoch bei der breiten Masse nicht an. Philipp Mittelman, Gründer einer der beteiligten CG-Firmen, meint:

Wir waren so enthusiastisch, dass wir das Gefühl hatten, wenn TRON in die Kinos kommt, dann werden alle großen Filmproduktionen auf diesen fahrenden Zug aufspringen und künftig auch Computeranimationen für die Herstellung von Action-Szenen einsetzen. Jeder in der Branche glaubte, dass dies ein Start in eine völlig neue Welt sei, aber, wie bei so vielen Dingen, war das ein Trugschluss. [MEG-00, S.174]

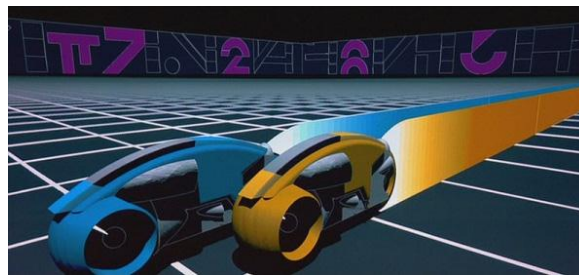


Abbildung 19: Light Cycles aus dem Film Tron (Quelle: http://xahlee.org/math/i/tron_lightcycles.jpg)

Das Publikum reagierte auf das technisch noch nicht ausgereifte Angebot eher verstörend, und empfand solche neuen Medien als „kalt“ und „seelenlos“. Die großen Filmproduktionsfirmen in Hollywood waren noch nicht bereit für diese neue Art von computergenerierten Effekten und somit sammelte sich das Know-How der Visual Effects Macher in der Werbung und in animierten TV-Logos von Fernsehstudios.

Das Jahr 1986 markiert einen wichtigen Meilenstein in der digitalen Animationsbranche: die *Pixar Animation Studios* wurden von Apple-Mitbegründer Steve Jobs gegründet. Steve Jobs übernahm für zehn Millionen Dollar die Computerabteilung von ILM⁸ und gründete somit *Pixar*. Noch im

⁸ Industrial Light & Magic (ILM)

gleichen Jahr war mit dem Kurzbeitrag *Luxo Jr.*, in der eine lebende Schreibtischlampe zu sehen ist, die erste Animation von *Pixar* zu sehen.



Abbildung 20: Szene aus Pixars Luxo Jr. (Quelle: http://www.pixar.com/shorts/ljr/images/landing_1.jpg)

In den Folgejahren löste sich die Computergrafik immer mehr von jenem technisch-künstlichen Aussehen, der die Zuschauer so sehr verstörte, indem es gelang, Grundformen zu verschmelzen. In James Camerons *The Abyss* aus dem Jahr 1989 bekam man eine erstaunlich realistisch wirkende computeranimierte Mimik eines Wasserwesens zu sehen. In seinem nächsten Film *Terminator 2* (1991) adaptierte Regisseur James Cameron diese Technik für die Verwandlungsszenen eines Flüssigmetall-Cyborgs, erzeugt in fast 8 000 3D-Einzelbildern. Der Cyborg veränderte mit Hilfe der Spezialeffekte seine Form; *Morphing* wurde dieses neue Verfahren genannt: „*die stufenlose Verwandlung eines Objektes oder eines Wesens in ein vorgegebenes anderes*“ [GIE-00]. Sofort wurde das *Morphing*-Verfahren auch von der Werbung und in Musikvideos aufgegriffen. Überhaupt kamen die Effekte in Camerons Filmen beim Publikum allseits gut an und ebneten somit den Vormarsch der digitalen Spezialeffekte in der Film- und Fernsehlandschaft.

Der endgültige Durchbruch der digitalen Spezialeffekte in der Filmwelt gelang 1993 Steven Spielberg mit *Jurassic Park*. Hier gelang den Special Effects Machern erstmals die tadellose Integration fotorealistischer Lebewesen in Realsequenzen und dem Publikum wurde ein sehr natürlicher Eindruck der digitalen Dinosaurier verschafft [GIE-00]. Die Grenzen von Real- und Computerszenen begannen sich immer mehr aufzulösen [MEG-00]. Das Publikum war erstaunt und gleichzeitig begeistert über die digital zum Leben

erweckten Urzeitsaurier, weshalb *Jurassic Park* auch zu einem Kassenschlager wurde. Digitale Spezialeffekte waren ab nun endgültig in der Film- und Fernsehlandschaft bei der breiten Masse angekommen.

Die zweite Hälfte der 1990er Jahre explodierte regelrecht mit Produktionen dreidimensionaler Computeranimationen in den Bereichen Spielfilme und Computer- bzw. Konsolenspiele. Im Jahr 1995 kam mit *Pixars Toy Story* der erste vollständig am Computer erstellte Spielfilm in die Kinos [KER-04]. An diesem Projekt arbeiteten 125 Computertechniker und Trickfilmanimatoren vier Jahre lang. 300 Hochleistungsrechner errechneten 114 240 Einzelbilder (*Frames*), die einen Speicherbedarf von rund 500 Gigabyte benötigten. Insgesamt leisteten die Computer 800 000 Rechenstunden.



Abbildung 21: Szene aus Toy Story von Pixar (Quelle: <http://www.pixar.com/featurefilms/ts/images/ts-front.jpg>)

Aufbauend auf diesen Erfolg an den Kinokassen folgten in den kommenden Jahren noch weitere Animationsfilme der *Pixar Animation Studios* wie z.B. *A Bug's Life* (1998), *Toy Story 2* (1999), *Finding Nemo* (2003), *Cars* (2006), *Wall-E* (2008), *Up* (2009), *Toy Story 3* (2010) oder *Cars 2* (2011), um ein paar zu nennen. [GIE-00: 36]

Ab den frühen 2000er Jahren wurden CGI die dominierende Form der Spezialeffekte.

Der erste, vollständige im Computer erzeugte Film mit realistisch wirkenden menschlichen Figuren war *Final Fantasy: Die Mächte in Dir* aus dem Jahr 2001. Zum ersten Mal gelang es, computergenerierte Menschen mittels

Nutzung des *Motion Capturing* Verfahrens weitgehend lebensecht darzustellen.⁹

Im Jahr 2009 entstand mit *Avatar* von Regisseur James Cameron der erste Spielfilm, welcher die sogenannte *Performance Capture* nutzt, um fotorealistische 3D-Charaktere zu erstellen und eine vollständige computergenerierte 3D-fotorealistische Welt darzustellen.



Abbildung 22: Szene aus dem Film *Avatar* (Quelle: http://img.tehcpeng.net/2009/Avatar_pandora.jpg)

3.2.3 Grundlagen der Computeranimation

Die Computeranimation ist eine „spezielle Art der Animation, die auf computergenerierten oder mit Computerunterstützung erzeugten Bildern basiert“ [BRO-12b]. Um näher auf die Computeranimation einzugehen, bedarf es noch einer kurzen Erklärung des Terminus Animation. Animation stammt vom lateinischen Wort „animare“ ab und bedeutet übersetzt so viel wie „belebt“ oder „bewegt“. Im Zusammenhang mit dem Begriff Bild wird in diesem Fall auch von „bewegten Bildern“ gesprochen, erklärt BRUGGER [BRU-94, S.129]. Nach RIEDL [RIE-11, S.75] ist Animation die „*Illusion von Bewegung*“ und hat ihren Ursprung in der Zeichentrickfilm-Branche. Eine Reihe von bewegten Bildern, die sich als Bewegungssequenz zu einem Film zusammenfassen lassen, ergibt eine

⁹ http://de.wikipedia.org/wiki/Final_Fantasy:_Die_Mächte_in_dir [08.09.2011]

Animation, meint BRUGGER [BRU-94, S.139]. Die Illusion einer Bewegung, so RIEDL [RIE-11, S.75] weiter, entsteht ab einem sequentiellen Ablauf von 10 Einzelbildern (*Frames*) pro Sekunde. Ein flüssiger Bewegungsablauf wird mit 24 oder mehr Frames pro Sekunde erzielt. Bei der Computeranimation wird auf dem Bildschirm also nur die Illusion von Bewegung erzeugt, so BRUGGER [BRU-94, S.140].

Heutzutage können technisch komplexe Vorgänge häufig nur durch Bewegungsabläufe – also Animationen – verdeutlicht und verständlich gemacht werden. Computeranimationen helfen dabei Abläufe zu verdeutlichen, die für den Betrachter oftmals nicht zugänglich gemacht werden können. Das sind z.B. mikroskopische und molekulare Prozesse, dynamische Präsentationen von globalen Sachverhalten (Bewegungen, Prozesse, Entwicklungen, Simulationen) oder Vorgänge mit raum-zeitlichen Veränderungen wie beispielsweise die Entstehung der Erde. Solche Vorgänge lassen sich durch den Computer in bildlicher oder animierter Form rekonstruieren, so BRUGGER [BRU-94, S.30]. Zudem werden Computeranimationen intensiver wahrgenommen als herkömmliche Präsentationsmethoden und begünstigen dadurch den Erkenntnisgewinn.

3.2.4 Computeranimation für die kartographische Darstellung

Seit rund vier Jahrzehnten werden Computer in der Kartographie eingesetzt, um aufwendige Berechnungen und Analysen der Daten durchzuführen sowie um Karten digital zu zeichnen. Insbesondere durch den steigendem Bedarf an Umweltdaten, um diese in neue, schnell reproduzierbare Kartenformen zu erstellen, hat die computergestützte Kartographie bei der Kartenerstellung besonders an Bedeutung gewonnen. Zwar existierten schon um 1945 erste digitale Rechenanlagen, doch wurden erst seit den 60er Jahren von Seiten der Geographie und Kartographie deren Kapazität bei Speicherung, Aufbereitung und Ausgabe von großen Mengen an raumbezogener Daten genutzt. Ab Mitte der 60er Jahre waren die *Experimental Cartographic Unit* in Oxford und das

Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis an der Harvard University die ersten Institutionen, die sich intensiv mit der Computerkartographie auseinander gesetzt haben. Die Computerkartographie war in den 60er und 70er Jahren weitgehend auf Großrechnern von Universitäten, Großforschungseinrichtungen oder großen Behörden beschränkt. Erst ab Mitte der 80er Jahre war mit dem Aufkommen von PCs die Computerkartographie auch für kleinere Anwender zugänglich.

Eine ausdrucksstarke Form der dynamischen Visualisierung im Kontext der raumbezogenen Datenverarbeitung ist die kartographische Animation, welche die Darstellung von sehr komplexen Prozessen ermöglicht. Zusätzlich können solche Animationen einen großen Einfluss auf den Betrachter erzielen. Kartographische Animationen können sowohl mit konkreten Daten, wie z.B. Geländeoberflächen oder 3D-Stadtmodelle, umgehen, als auch mit abstrakten oder konzeptuellen Datenmodellen, wie z.B. Klimadaten oder Bevölkerungsdichte. Diese Art von Animationen erzählen nicht nur eine Geschichte oder erklären einen Prozess, sie besitzen auch die Möglichkeit Muster und Beziehungen darzustellen oder Trends zu zeigen, welche auf einer einzelnen Karte nicht darstellbar wären. [KRA-07, S. 317f]

Die Kartographie beschäftigt sich erst seit den 1990er Jahren konzeptionell mit der Animation [DRA-97]. Die Nachfrage nach Animationen in der Kartographie entstand aus der Notwendigkeit mit realen Prozessen oder Simulationen aus diesen Prozessen umzugehen, anstatt mit einzelnen Zeitabschnitten zu arbeiten. Statische Karten auf Papier sind in ihren Möglichkeiten beschränkt, um z.B. Modelle für Planungen zu visualisieren. Animationen, die raumbezogene Daten visualisieren, können Veränderungen im Raum (Position), am Ort (Attribute) oder in der Zeit darstellen. Kartographen waren von den Möglichkeiten der Animation schon einige Jahre versucht diese auch anzuwenden, noch bevor die Nachfrage bei den benachbarten Geowissenschaften entstand, so die Meinung von KRAAK [KRA-07, S.318]. Die technologischen Entwicklungen in den 80er Jahren gaben kartographischen Animationen den wichtigen Impuls, während ab den späten 90er Jahren die Verbreitung des World Wide Web als wichtige Bewegung für die

vermehrte Nutzung von Animationen in der Kartographie zu sehen ist. [KRA-07, S.318]

Für viele ist die kartographische Animation eine Darstellung von zeitlichen Veränderungen. In Geovisualisierungen werden Animationen verwendet, um das zeitabhängige Verhalten komplexer Systeme zu zeigen. Klassische Beispiele hierfür sind der Rückgang der Gletscher oder die Verschiebung der Vegetationsgrenze. Nach KRAAK [KRA-07, S.318] erfolgt für Animationen eine Einteilung in temporale und non-temporale Animation. Die temporale Animation wird eingesetzt, um Zeit in einer zeitlichen Abfolge darzustellen. Die nicht-temporale Animation wird hingegen verwendet, um räumliche Beziehungen durch einzelne Kartenbilder in einer nicht-zeitlichen Sequenz zu erklären.

3.3 Techniken der digitalen Bildbearbeitung

Für die Erstellung digitaler Spezialeffekte ist es auch notwendig die Grundlagen der Bildbearbeitungstechniken sowie die einzelnen Arbeitsschritte im Herstellungsprozess näher zu betrachten.

MULACK [MUL-02] unterteilt die digitalen Bildbearbeitungstechniken in folgende zwei Bereiche:

A.) Zweidimensionale Computer Graphics (CG):

- Digital Painting
- Digital Image Processing
- Digital Image Compositing

B.) Dreidimensionale Computer Graphics (Computer Generated Imagery, CGI):

- Modeling
- Texturing
- Animation
- Rendering

In der Praxis besteht ein fließender Übergang zwischen diesen digitalen Bildbearbeitungstechniken, d.h. die Techniken können miteinander kombiniert werden. Manche Softwarepakete können diese Bereiche teilweise komplett abdecken.

3.3.1 Zweidimensionale Computer Graphics

Zweidimensionale Computer Graphics gliedert sich in den Bereichen Digital Painting, Digital Image Processing und Digital Image Compositing, und soll an dieser Stelle nur kurz Erwähnung finden.

Digital Painting

Digital Painting bezeichnet die digitale Erstellung von zweidimensionalen Computerbildern mit Hilfe von Grafiksoftware und Eingabegeräten wie z.B. ein Grafik-Tableau, auf dem mit einem elektronischen Stift gezeichnet wird. Zu den Painting-Effekten zählen die nachträgliche Retusche von Sicherungsseilen für Stuntleute, die Korrektur von störenden Kratzern bzw. Bildfusseln aber auch die zweidimensionale Animation von Effekten wie Blitze, Licht, Schatten, etc. [MUL-02]

Digital Image Processing

In diesem Prozess fällt die Manipulation von Bildeigenschaften wie Farbe, Kontrast, Sättigung und Schärfe rein. Die Formverwandlungsmethode *Morphing* zählt ebenfalls zu dieser Methode. [MUL-02]

Digital Image Compositing

Hierunter versteht man den Prozess der digitalen Montage von zwei oder mehreren Bildelementen zu einem endgültigen Bild.

3.3.2 Dreidimensionale Computer Graphics

Der Einsatz computergenerierter Bilder erfreut sich in heutiger Zeit immer wachsender Beliebtheit. Rechnergenerierte Objekte sind Simulationen realer oder imaginärer Objekte, die als mathematische Modelle im Computer vorliegen. [MUL-02]

Die einzelnen Arbeitsschritte im Herstellungsprozess von computergenerierten Bildern sieht FLÜCKIGER [FLÜ-08] wie folgt:

- **Modellierung** (*Modeling*): Erstellen der Objekte im dreidimensionalen Koordinatensystem;
- **Materialisierung** (*Texturing*): Beschreibung der Oberflächeneigenschaften der Materialien wie beispielsweise Farbe und Rauigkeit und ihrer Reaktion auf Licht wie Reflexion, Glanz oder Transparenz;
- **Beleuchtung** (*Illumination*): Erstellen von Lichttypen und Setzen von Lichtquellen im dreidimensionalen Raum;
- **Animation**: Definition des zeitlichen Verhaltens der Objekte im Raum;
- **Rendern** (*Rendering*): Berechnung des zweidimensionalen Bildes aus einer definierten Kameraposition unter Berücksichtigung sämtlicher oben beschriebener Parameter.

MULACK [MUL-02] verweist darauf hin, dass sich die einzelnen Schritte häufig überschneiden.

3.3.2.1 Modeling

Der wohl wichtigste und wahrscheinlich arbeitsintensivste Schritt in der Erschaffung einer Animation oder 3D-Visualisierung ist die Erstellung von 3D-Modellen. Diese Modelle werden üblicherweise im „Modeler“ eines 3D-Programmes hergestellt. In einem 3D-Programm bestehen Modelle immer aus den beiden Bereichen Form und Oberfläche. So wird das 3D-Modell einer Holzkugel beispielsweise erst als Kugel (Sphäre) geformt und erst danach mit einer Holzoberfläche (Textur) versehen. [BEZ-96, S.286]

Im ersten Arbeitsschritt wird ein Objekt bzw. Körper aus Punkten, die mittels aneinandergrenzenden Dreiecken zu einem Drahtgittermodell (*Wireframe*) verbunden werden, konstruiert. Auch die Bezeichnungen „Drahtmodell“ oder „Gittermodell“ werden in anderen Büchern verwendet. Diese Punkte legen die Grenzen der Modelloberflächen fest. Definiert werden diese Oberflächen als Polygone und entstehen, indem drei oder mehr Punkte zusammengefasst werden. Je mehr Punkte oder Polygone ein Modell enthält, desto komplexer und schwieriger wird dann die Bewegung der Figur zu erstellen, desto schwieriger wird es, Veränderungen vorzunehmen und desto dementsprechend größer wird die Datei [WHI-08, S.426]. Computerm modellierte Objekte können fast jede erdenkliche Form annehmen [FLÜ-08]. Dabei ist es egal, ob es sich um eine geometrische Form mit geraden Kanten handelt oder um eine organische Form mit weichen Rundungen. Je kleiner und zahlreicher die Dreiecke im Drahtgitter sind, desto glatter und genauer lassen sich Rundungen darstellen [SLA-04, S.202]. Die beiden häufigsten Quellen von 3D-Modellen sind die auf dem Computer mittels spezieller 3D-Modellierungs-Tools entstandene Objekte und jene, die anhand realer Objekte in einen Computer eingescannt wurden. Reale plastische Objekte und Figuren lassen sich bis zu einer bestimmten Größe mithilfe eines 3D-Scanners digitalisieren, um danach als Vorlage für das Modeling zu dienen [MUL-02]. Für das Modeling selbst gibt es verschiedene Techniken, welche die unterschiedlichen 3D-Softwares zur Verfügung stellen [SLA-04, S.202].

3.3.2.2 Texturing

Im nächsten Schritt erfolgt die Oberflächengestaltung, die Materialisierung (*Texturing, engl. Texture Mapping*) des erstellten Modells. Hierbei wird dem Objekt eine Oberfläche mit einer spezifischen Farbe, Musterung, Struktur und Reflexionseigenschaft zugewiesen, erklärt SLANSKY [SLA-04, S.202]. Diese Oberflächen bzw. Bilder werden als Textur bezeichnet und auf das 3D-Objekt projiziert (vgl. Abbildung 23). In der Computergrafik wird die Textur „als eine 2-

oder mehrdimensionale Struktur von Erscheinungsattributen“ gesehen. [SCH-00, S.102f]

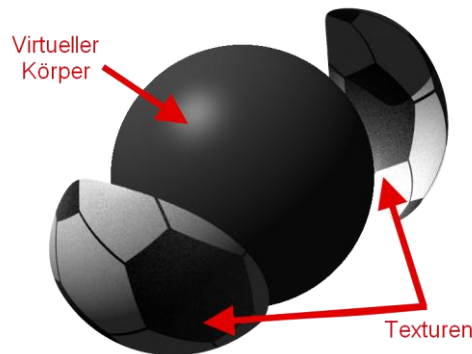


Abbildung 23: Texturierung eines volumenhaften Körpers (Quelle: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:K%C3%B6rper.png&filetimestamp=20091007192139>)

Als Oberflächentextur kann auch ein Foto verwendet werden, welches sich dann der Oberfläche des Objektes exakt anpasst, so SLANSKY weiter [SLA-04, S.202]. Dadurch kann ein fotorealistisches Abbild von Objekten geschaffen werden, indem z.B. Orthofotos als Texturen für Geländemodelle oder Fassadenfotos als Gebäudetexturen benutzt werden. Zudem werden Parameter für Farbe, Lichtreflexion oder Lichtdurchlässigkeit der Oberfläche festgelegt. [MUL-02]

3.3.2.3 Illumination

Im 3. Arbeitsprozess, welcher die Konstruktionsphase abschließt, muss die erstellte Szenerie in Licht gesetzt werden (*Illumination*). Um die Szene zu beleuchten, kann dabei nur eine einzige Lichtquelle, ähnlich der Sonne, gesetzt werden, oder unter Verwendung mehrerer Lichtquellen, die mit unterschiedlichen Eigenschaften in der Szene montiert werden können, erläutert SLANSKY [SLA-04, S.202]. Die Lichtquelle bewirkt ein plastisches Aussehen bei dreidimensionalen Graphikobjekten. Als Ergebnis erhalten die Graphikobjekte ein fotorealistisches Aussehen. [DRA-97, S. 27]

Nach DRANSCH [DRA-97, S. 27] kann eine Lichtquelle durch folgende Eigenschaften beschrieben werden:

- Position
- Neigung
- Art
- Farbe
- Intensität

3.3.2.4 Animation

Durch die Erstellung der Animation kommt nun Bewegung ins Spiel des noch statischen Bildes. Klassisch betrachtet beschreibt der Begriff Animation die Belebung von unbelebten Dingen [SLA-04]. Anders ausgedrückt beschreibt die Animation *„die Bewegung eines Objekts im dreidimensionalen Raum.“*, so WARTMANN [WAR-07, S.24]. Solch eine Bewegung kommt dadurch zu Stande, indem jeweils ein Bild berechnet (*gerendert*) wird, das Objekt dann wieder ein Stück bewegt wird und wieder ein Bild berechnet wird usw. [WAR-07, S.24]. Nicht nur die Objekte werden animiert, es lassen sich genauso alle Lichtquellen und die virtuelle Kamera animieren [SLA-04, S.202]. Mit der Maus werden verschiedene Fixpunkte (*Keyframes*) abgefahren; die Zwischenphasen der Bewegungen werden vom Computer bzw. vom 3D-Programm automatisch errechnet (*In-Betweens* oder *Interpolation*) [MUL-02]. WARTMANN [WAR-07, S.24] definiert eine Interpolation als *„eine mathematische Zwischenwertberechnung nach verschiedenen Verfahren, die im einfachsten Fall eine gerade Verbindung zwischen den Hauptpunkten berechnet, es können aber auch Kurven interpoliert werden.“*

DRANSCH [DRA-97, S. 26ff] erwähnt hierbei die „Animationsobjekte“, welche die Grundelemente der Animation sind. Drei Typen von Animationsobjekten können unterschieden werden (MAGNENAT-THALMANN et al. 1990 in [DRA-97, S. 26]):

- Graphikobjekte
- Kamera

- Lichtobjekte (vgl. Kapitel 3.3.2.3 *Illumination*)

Die Träger der Information in der Animation sind die Graphikobjekte. Folgende geometrische und graphische Merkmale beschreiben die Graphikobjekte (MAGNENAT-THALMANN et al. 1990 in [DRA-97, S. 26f]):

- Position:
 - Form
 - Größe
 - Richtung.
- Graphische Merkmale:
 - Farbe
 - Helligkeitswert
 - Textur. (vgl. Kapitel 3.3.2.2 *Texturing*)

Die Kamera bestimmt den „*Betrachtungspunkt und den Betrachtungswinkel*“. Dies ermöglicht den zu „*präsentierenden Bildausschnitt und die Perspektive, aus der die Graphikobjekte betrachtet werden*“ bestimmen zu können, so DRANSCH [DRA-97, S. 27] weiter.

Laut DRANSCH [DRA-97, S. 27] lässt sich die Kamera durch folgende Merkmale beschreiben:

- Vertikale und horizontale Position,
- Distanz zum Graphikobjekt,
- Neigungswinkel und
- Richtungswinkel der Kamera.

Die Animationsobjekte lassen sich unterscheiden in *dynamische Animationsobjekte* und *statische Animationsobjekte* (MAGNENAT-THALMANN et al. 1990 in [DRA-97, S. 26]). Statische Animationsobjekte verändern sich nicht automatisch über die Zeit. Änderungen in der Darstellung werden ausschließlich durch Interaktion hervorgerufen [SCH-00, S.176]. Verändern sich die Animationsobjekte in der Animation, so sind das dynamische Animationsobjekte.

Unter Veränderungen sind die Unterschiede zu verstehen, die zwischen Szenen einer Animation auftreten. DRANSCH [DRA-97, S.28] erklärt daraufhin, aus welchem Grund Veränderungen in einer Animation wichtig sind. Denn *„Veränderungen sind das Wesentliche der Animation“*, da *„erst durch die Veränderung der Animationsobjekte [...] die Handlung der Animation sichtbar [wird]“*. [DRA-97, S.28]

Grundlegende Veränderungen sind nach DRANSCH [DRA-97, S.28f]:

- Für die Graphikobjekte:
 - als geometrische Veränderungen:
 - Veränderung der Position
 - Veränderung der Form
 - Veränderung der Größe
 - Veränderung der Richtung.
 - als graphische Veränderungen:
 - Veränderung der Farbe
 - Veränderung der Helligkeit
 - Veränderung der Textur.
- Für die Kamera:
 - Veränderung der vertikalen und/oder horizontalen Position
 - Veränderung der Distanz
 - Veränderung des Neigungswinkels
 - Veränderung des Richtungswinkels.
- Für die Lichtquelle:
 - Veränderung der Position
 - Veränderung der Neigung
 - Veränderung der Art
 - Veränderung der Farbe
 - Veränderung der Intensität.

3.3.2.5 Rendering

Damit ein Drahtgittermodell ein fotorealistisches Erscheinungsbild erhält, muss dieses gerendert werden. Rendering ist der letzte Prozess der Erstellung des eigentlichen 2D-Bildes oder Animation aus der vorbereiteten Szene. Der Begriff „Rendern“ stammt aus dem englischen und bedeutet etwas „präsentieren“, „darstellen“, „wiedergeben“ oder „gestalten“. Laut BEZEL [BEZ-96, S.374] bedeutet Rendern hier die Anfertigung eines pixelorientierten fotorealistischen Bildes auf Basis einer 3D-Szene. Das Render-Verfahren greift alle Informationen aus der Objekt- und Szenegeometrie, den Shadern und der Beleuchtung in Hinblick auf zu definierende Kameraparameter auf. Anhand eines Render-Algorithmus werden daraus die Farbwerte der einzelnen Pixel, aus denen sich das Bild zusammensetzt, berechnet, erklärt FLÜCKIGER [FLÜ-08, S.167]. Jeder Renderer verfügt über mehrere Renderingverfahren, die sich in der Qualität des Ergebnisses sowie an den Anforderungen an die Hardware-Ressourcen unterscheiden [BEZ-96, S.374]. FLÜCKIGER [FLÜ-08, S.167] formuliert weiter, dass die latenten Daten in einer der Wahrnehmung zugänglichen Form überführt werden. Dabei wird das Bild der virtuellen Kamera noch unter Einberechnung aller Lichtreflexionen, Transparenzen und Brechungen berechnet. Sind alle Parameter in der Software eingestellt, findet der Render-Vorgang vollkommen automatisch statt, meist in sogenannte „Render-Farmen“, einem Netzwerk von mehreren Computern [FLÜ-08, S.171]. In Abhängigkeit der Komplexität des jeweiligen Bildes und der Rechenleistung des Computers kann der Render-Vorgang mitunter sehr lange dauern [SLA-04, S.203]. Deshalb sollte zuerst nur einzelne Bilder zur Probe gerendert werden, um die gesetzten Parameter zu überprüfen, ehe man den Vorgang für alle Bilder einer Einstellung startet [FLÜ-08, S.172].

Zusammenfassend wurden die grundlegenden theoretischen Begrifflichkeiten aus dem Bereich der Spezialeffekte erklärt, dessen Erstellung wiederum auf der Computergrafik und der Computeranimation basieren. Abgeschlossen wurde dieser Abschnitt der Arbeit mit Grundlagen der digitalen Bildbearbeitung. Hierbei wurde das Hauptaugenmerk auf die Arbeitsschritte im Herstellungsprozess dreidimensionaler Computergrafiken gelegt.

Wie Spezialeffekte in Geovisualisierungen eingesetzt werden können und welche Techniken zur Realisierung benötigt werden, folgt nun im Anschluss im zweiten Hauptabschnitt der Arbeit, der sich dem Thema der Arbeit nun in einer mehr praktisch-orientierten Weise widmet.

4 EINSATZ VON SPEZIALEFFEKTEN IN GEOVISUALISIERUNGEN

Dieser Abschnitt der Diplomarbeit beschäftigt sich mit der praktischen Anwendung von digital erzeugten Spezialeffekten in Geovisualisierungen. In den vorangegangenen Kapiteln wurden die theoretischen Grundlagen der 3D-Visualisierung behandelt sowie die historische und technologische Entwicklung der Computergrafik, welche ja die Ausgangsbasis der digitalen Spezialeffekte ist. Dieses Kapitel stellt nun die Möglichkeiten an Spezialeffekten vor, mit denen Geovisualisierungen arbeiten. Als Voraussetzung zur Erstellung von Spezialeffekten werden zu Beginn die grundlegendsten Techniken und Werkzeuge vorgestellt, mit denen 3D-Programme arbeiten. Wie manche dieser Techniken für Spezialeffekte sinnvoll eingesetzt werden, zeigt das darauffolgende Kapitel anhand einiger Beispiele. Diese Beispiele wurden allesamt mit der 3D-Software CINEMA 4D der Firma *Maxon* erstellt. Anhand von Anwendungsbeispielen wird abschließend gezeigt, wie sich Geovisualisierungen solcher Effekte zu Nutze machen.

4.1 Techniken für die Erstellung von Spezialeffekten

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über einige grundlegende Techniken in 3D-Programmen, mit denen Spezialeffekte für 3D-Visualisierungen erstellt werden können. Partikeleffekte sind hierbei eine der wesentlichsten Techniken dafür. In vielen Filmen, Dokumentationen und Werbespots kommen diese Partikeleffekte zum Einsatz, ohne dass die meisten Zuschauer wahrscheinlich genau wissen, wie diese Effekte erstellt werden. Dieses Kapitel soll dazu dienen, um einen Einblick zu bekommen mit welchen Techniken Spezialeffekte erstellt werden können.

4.1.1 Partikeleffekte

Digital erzeugte Partikeleffekte spielen für Spezialeffekte eine wichtige Rolle. Partikeleffekte werden verwendet, um *„natürliche Begleiterscheinungen zu simulieren und somit den Realitätsgehalt einer Computeranimation zu steigern“*, begründet BRUGGER [BRU-94, S.153] den Gebrauch von Partikelsystemen. Die erste Anwendung von Partikelsystemen in der Computergrafik wurde 1983 von W. T. Reeves vorgestellt, um Objekte zu modellieren, die keine festen Umrisse oder klar abgrenzbare Oberflächen haben, wie beispielsweise die Naturerscheinungen Feuer, Rauch, Wolken oder turbulent fließende Flüssigkeiten [NG-00, S.20]. Partikel werden verwendet, wenn es einer großen Anzahl von Objekten bedarf und diese möglicherweise noch animiert werden sollen [KOE-08, S.452]. KOENIGSMARCK [KOE-00, S.98f] unterscheidet Partikel von normalen dreidimensionalen Modellen dadurch, dass *„sie wie Wassertropfen aus einem Schlauch an einer bestimmten Stelle im 3D-Raum auftauchen und sich dann von dort in den Raum ausbreiten“*. In einem typischen Partikelsystem wird das Objekt durch eine Menge von Partikeln repräsentiert [NG-00, S.20]. Ein Partikelsystem besteht aus einer größeren Anzahl von kleineren Objekten, die nicht individuell gesteuert werden, sondern durch einen Zufallsmechanismus mit verschiedenen Parametern kontrolliert werden. Den Partikeln wird ein grundlegendes Verhalten zugeordnet [KLA-12, S.214]. Dabei können in den Eigenschaften verschiedenste Attribute festgelegt werden, beispielsweise wie die Flugbahn der Partikeln verlaufen soll, wie lange die Partikeln sichtbar sein sollen (die sogenannte „Sterberate“ der Partikeln), die Größe, Form und Dichte der Partikeln und einiges mehr [KOE-00, S.98]. *„Jedes Partikel entsteht, entwickelt sich und stirbt schließlich zu einem festgesetzten Zeitpunkt“*, so NG [NG-00, S.20].

Laut NG [NG-00, S.20] sind in einem typischen Partikelsystem folgende Parameter in jeder Software gleich:

- Position
- Geschwindigkeit
- Richtung
- Größe
- Farbe
- Transparenz
- Form
- Intensität
- Lebensspanne

Der Einsatz eines Partikelsystems birgt sowohl Vor- als auch Nachteile gegenüber der traditionellen geometrischen Methode, wie es die folgende Übersicht nach NG [NG-00, S.21] darstellt:

Tabelle 4: Vor- und Nachteile eines Partikelsystems [NG-00, S.21]

	Vorteile	Nachteile
Partikel-Methode	Prozedurale Kontrolle	Erhöhter Rechenaufwand
	Modellierung großer Datenstrukturen	Begrenzte Interaktivität, da meist ein Rendering nötig ist, um das fertige Ergebnis erkennen zu können.
	Einfache Möglichkeit, Partikel durch geometrische Objekte zu ersetzen, um Gruppen-animationen zu erleichtern, z.B. Vogelschwärme	
Geometrische Methode	Direkte Manipulation der Geometrie	Unmöglich, große Datenmengen, wie Haare oder Gras, zu erstellen
	Enorm hohe Steuerungsmöglichkeiten durch den Benutzer	Schwierige Erstellung von Objekten, die keine genaue Form haben, z.B. Feuer oder Rauch

Nach ECKARDT [ECK-07, S.142f] kann praktisch jedes Objekt als Partikel verwendet werden, um beispielsweise Rauch, Feuer, Tierschwärme, Flüssigkeiten, Kugeln auf einem Billardtisch etc. in einer 3D-Software realisierbar zu machen.

Partikel finden auch Verwendung als Lichtquelle mit sichtbarem Licht. Somit ergibt sich die Möglichkeit Lichterscheinungen wie Feuer oder Plasma zu visualisieren. Hier treten jedoch Probleme bei der Darstellung von scharfen Konturen, wie z.B. bei Flammen, auf. Grund dafür ist die oftmals nur kugelförmige Erscheinung sichtbaren Lichts.

Bei der Umsetzung von Rauch kommen Partikel ebenfalls zum Einsatz. Als Partikel werden dabei wieder Lichtquellen verwendet. Das sichtbare Licht ist diesmal auf Schwarz beziehungsweise auf sehr dunkel eingestellt. Entsprechende Partikelflugbahnen erzeugen dabei recht natürlich wirkende Rauchfahnen [KOE-00, S.101]. Das Partikelsystem eröffnet dem Anwender genügend Möglichkeiten, um Rauch, Dampf, Feuer, Explosionen, Wasserfontänen, Feuerwerk und einiges mehr zu erzeugen. [WAR-07, S.225]

4.1.1.1 Partikel-Emitter

Der Partikel-Emitter ist Teil des Partikelsystems, der aus besagtem Emitter, den Partikeln und den Modifikatoren besteht [ASA-11, S.493]. Nach KOENIGSMARCK [KOE-00, S. 99] wird als sogenannter Emitter jene Stelle bezeichnet, ab der die Partikeln ausgestoßen werden und sichtbar auftreten. Emitter sind meist rechteckige ebene Flächen, die Größe ist dabei unterschiedlich. In Abbildung 24 ist solch ein Emitter als weißes Quadrat dargestellt, aus dem die in diesem Beispiel kugelförmigen Partikeln emittiert werden. In einem Emitter können beliebig viele unterschiedliche Partikel verwendet werden. Die Partikel werden nach Erzeugung durch das Emitter-Objekt entlang seiner Z-Achse in die Szene geschickt. Laut ASANGER [ASA-11, S.494] errechnet sich die Position eines Partikels aus der vorherigen Position des Partikels. Im Attribute-Manager des Emitters lassen sich einige Einstellungen in

Bezug auf den Partikelstrom einstellen, wie z.B. die Schnelligkeit, die Lebensdauer und die Endgröße oder ob die Partikeln um einen bestimmten Winkel rotieren sollen. [KOE-08, S.452]

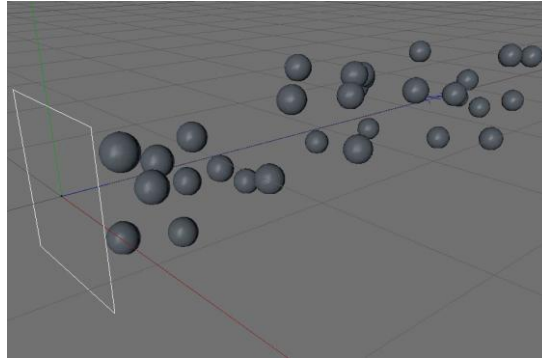


Abbildung 24: Emission von kugelförmigen Partikeln (eigene Bearbeitung)

Einige Programme bieten zudem die Möglichkeit Partikeln von der Oberfläche eines Modells zu visualisieren, um sich dann in weiterer Folge in den 3D-Raum auszubreiten. Würde der Emitter so eingestellt sein die Partikeln von oben nach unten zu schicken, könnten die Partikel beispielsweise als Simulation von Schnee eingesetzt werden. Folglich lassen sich viele andere Objekte als Partikel einsetzen, wie z.B. Gesteinsbrocken bei einer Vulkanausbruchsimulation. Um mehr Variationen in den Partikeln zu erzielen, können Größe oder Ausrichtung der Partikel per Zufall berechnet werden. Des weiterem besteht oftmals in 3D-Programmen die Möglichkeit, mehrere verschiedene Modelle oder Objekte mit dem Emitter zu verknüpfen, um mehrere Sorten von Partikel zu erhalten. [KOE-00, S.99f]

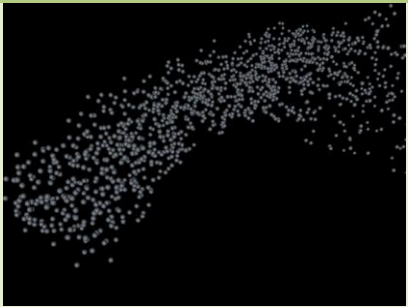
4.1.1.2 Modifikatoren

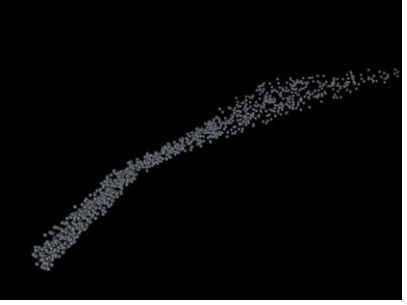
Um den Partikelstrom in gewünschter Weise zu beeinflussen und zu verändern, werden Modifikatoren in die Szene gesetzt [ASA-11, S.493]. Zusätzliche Streuobjekte für den Partikelstrom sorgen dafür, dass Partikel nicht nur auf einen geradlinigen Verlauf durch den Raum festgelegt sind. Ein typisches Streuobjekt ist der Wind, welcher die Partikel im Raum verweht [KOE-00, S.98-101]. WARTMANN [WAR-07, S.225f] meint dazu weiter, dass Partikel von einer

globalen Kraft (Gravitation bzw. konstanter Wind oder Strömung), von Kraftfeldern (Wind, Strudel etc.) und von Objekten, die als Reflektoren dienen, beeinflusst werden können.

Einen Überblick über die Typen von Modifikatoren bietet Tabelle 5.

Tabelle 5: Typen von Modifikatoren (eigene Bearbeitung)

Modifikator	Beschreibung	Beispiel
Attraktor	Der Attraktor hat eine radiale Anziehungskraft und zwingt die Partikel zu umlaufförmigen Bewegungsbahnen. Außerhalb des Attraktoreinflusses bewegen sich die Teilchen unbeirrt fort.	
Reflektor	Partikel prallen an einem Reflektor ab wie an einer unsichtbaren Wand. Der Reflektor ist ein Flächenobjekt mit definierbaren X- und Y-Ausmaße.	
Vernichter	Der Vernichter eliminiert Partikel ab der Stelle im Partikelstrom, wo er eingesetzt wird, sodass nur noch wenige bis maximal keine Partikel mehr durchkommen (abhängig von der Einstellung).	

Reibung Partikel werden durch natürliche Energieabschwächung durch den Reibungs-Effekt verlangsamt. Eine Verringerung der Geschwindigkeit bis zum Stillstand ist möglich.	
Gravitation Mit dem Gravitationsmodifikator werden die Partikel in negativer Y-Richtung gemäß der Gravitationskraft nach unten gelenkt.	
Rotation Rotation fügt der Partikelbewegung eine Drehung um die z-Achse des Emitters zu. Die Partikel rotieren in einer schraubenförmigen Spur durch den Modifikator.	
Turbulenz Turbulenz bewirkt eine beliebig starke Verwirbelung des Partikelstroms ab dem Zeitpunkt, wo die Partikel durch den Modifikator gehen. Dieser Modifikator verwirbelt alle einströmigen Partikel und verstreut diese in alle Richtungen.	
Wind Der Wind-Modifikator lenkt den Partikelstrom ab. Neben der Stärke der Windkraft ist auch die Größe des Modifikator-Objektes entscheidend für die Beeinflussung der Partikelteilchen.	

4.1.1.3 Thinking Particles

Thinking Particles ist ein komplexes und sehr flexibles Partikelsystem, das es erlaubt, komplexe Anforderungen an ein Partikelsystem zu stellen, wie z.B. Partikel- und Objektkollisionen, ereignisbasierter Partikel ausstoß sowie gruppen- und partikelgenaue Steuerung. Dieses Partikelsystem gewährleistet eine absolute Kontrolle der Partikel. Diese speziellen Partikel stellen Möglichkeiten dar, welche die Geovisualisierungen in ihren Animationen gerne aufgreifen, um effektvolle Spezialeffekte kreieren zu können. Laut ASANGER [ASA-11, S.499] bieten *Thinking Particles* all das, was von einem modernen Partikelsystem erwartet wird; nämlich ein modularer Aufbau, beliebige Komplexität, Simulation physikalischer Eigenschaften, Kollisionen und vieles mehr. Diese Funktion wird über den *XPRESSO-Editor* von CINEMA 4D und dem Attribute-Manager gesteuert und arbeitet node- bzw. regelbasiert, wie Abbildung 25 zeigt. Der Nachteil zum Standard-Partikelsystem ist die Komplexität dieser nodebasierten Arbeitsweise, die nicht allzu intuitiv ist und eine Einarbeitungszeit erfordert.

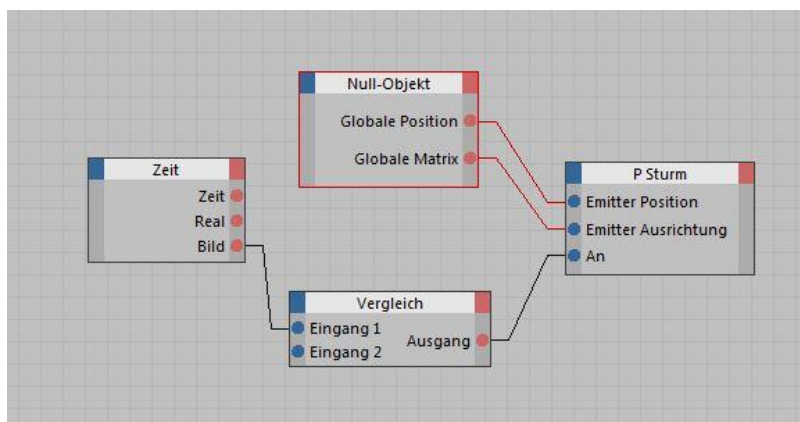


Abbildung 25: Nodebasierte Arbeitsweise im *XPRESSO Editor* von CINEMA 4D (eigene Bearbeitung)

4.1.2 PyroCluster

Für professionelle 3D-Geovisualisierungen ist es wichtig immer die besten, realistischsten Ergebnisse, die mit dem Computer geschaffen werden können, zu erzeugen. Das Aussehen natürlicher Phänomene wie Feuer, Wasser und Rauch stellt dabei einer der größten Herausforderungen dar, weil Naturphänomene im Allgemeinen die komplexesten und zeitaufwendigsten Render-Effekte sind. Der

Spezialist in CINEMA 4D dafür heißt *PyroCluster*, wenn es um das Erzeugen von realistischen atmosphärischen Effekten wie Nebel und Wolken, Rauch-, Feuer- und Explosionseffekte geht. Bei *PyroCluster* handelt „es sich um animierbare Shader, die ihre atmosphärischen Effekte über Partikel realisieren“, erklärt ASANGER [ASA-11, S.654]. Der sogenannte PyroCluster-Shader wirkt als Material für den Partikel-Emitter. In den Shader-Einstellungen stehen bereits vorgefertigte Effektarten mit Standardwerten für Feuer-, Vulkan-, Wolken-, Dampf-, Feuerball-(Explosion) und Rauch-Effekte bereit. Basierend auf das Partikelsystem sind PyroCluster-Effekte echte 3D-Effekte. Über die in Kapitel 4.1.1.2 beschriebenen Möglichkeiten können hier Partikel ebenfalls modifiziert werden, um bei *PyroCluster* noch realistischere Rauch-, Feuer- und Wolken-Effekte zu erhalten. Zusätzlich arbeitet *PyroCluster* mit *Thinking Particles* (siehe Kapitel 4.1.1.3) zusammen. Diese Kombination ermöglicht es atemberaubende pyroklastische Effekte zu erzielen. [ASA-11, S.654]



Abbildung 26: Verschiedene PyroCluster-Raucheffekte [ASA-11, S.656]

Alle PyroCluster-Effekte basieren auf Partikeln, jeder Partikel wird zu einem Voxel (Volumetrischer Pixel) und wird als echtes Volumen gerendert. Die Farbe eines PyroCluster-Partikels kann in den Alter-Einstellungen und durch einen Farbverlauf bestimmt werden. Der rechte Raucheffect in Abbildung 26 beispielsweise ist zu Beginn der Partikel-Lebensdauer gelb, geht dann in rote Farbe über und wird schlussendlich schwarz. PyroCluster-Partikel besitzen wie jedes normale Objekt auch die Eigenschaft, Licht zu empfangen und Schatten zu

werfen. Für das natürliche Aussehen einer Rauchwolke beispielsweise sind diese Beleuchtung- und Schattenwurf Eigenschaften von großer Bedeutung.

4.1.3 Deformationseffekte

Digitale Spezialeffekte bedienen sich oftmals der Technik der Deformationseffekte. Diese Werkzeuge dienen in vielfältiger Weise zur dynamischen Formänderung von Objekten. Ebenfalls genutzt werden Deformatoren zum eigentlichen Modellieren, sowie auch für Animationen. In CINEMA 4D sind Deformationsobjekte in der Deformatoren-Palette (Abbildung 27) bzw. im Menü *Objekte – Deformer* zu finden. [ASA-11, S.151]

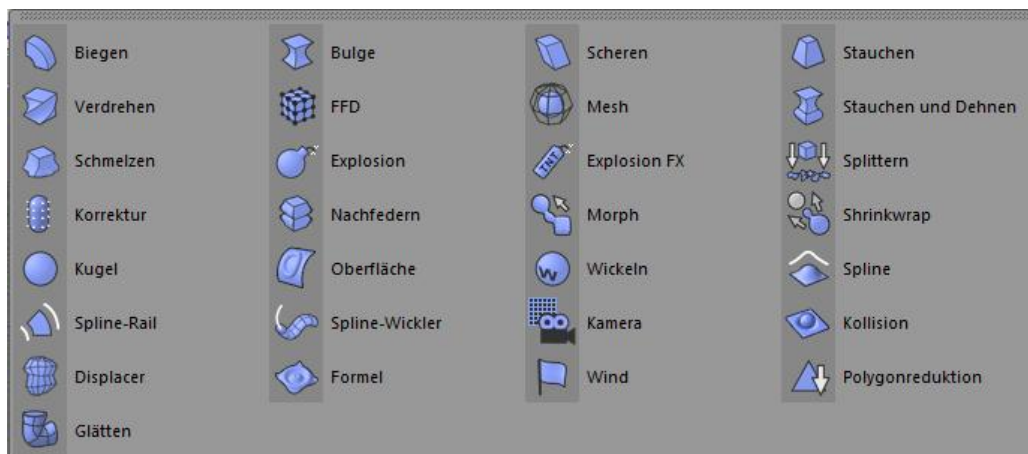


Abbildung 27: Deformationsobjekte-Palette (eigene Quelle)

Grundsätzlich wirken Deformationsobjekte, die nach dem Erstellen automatisch aktiv sind, auf das hierarchisch übergeordnete Objekt und dessen Unterobjekte, wie in Abbildung 28 (erkennbar am kleinen, untergeordneten Symbol für den Biegen-Deformer im Objekt-Manager von CINEMA 4D) veranschaulicht wird.



Abbildung 28: Deformer-Objekte müssen hierarchisch untergeordnet werden (eigene Quelle)

Zusätzlich besteht die Möglichkeit in CINEMA 4D mehrere Deformationsobjekte untereinander zu kombinieren, wobei der in der Reihenfolge hierarchisch oberste Deformer zuerst auf das Objekt angewendet wird.

Objekte, die deformiert werden, müssen genügend Unterteilungen (Segmente) besitzen, da ansonsten nicht die entsprechende Wirkung erzielt werden kann. Nur wenn ausreichend Unterteilungen vorhanden sind, funktioniert eine Verbiegung richtig. Das linke Objekt in Abbildung 29 besitzt nur 1 Segment, weshalb es in Folge des Biegen-Objektes nur gerade gebogen wird, das rechte Objekt aus derselben Abbildung verfügt über 100 Segmente, somit ein krummes Biegen möglich wird.

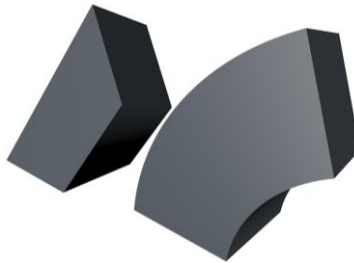


Abbildung 29: Das selbe Objekt: links Biegung mit nur einem Segment, recht mit mehreren Segmenten (eigene Bearbeitung)

Als ein weiteres plakatives Beispiel für diese Notwendigkeit sei an dieser Stelle noch das Explosions-Objekt zu erwähnen. Wenn ein Würfel explodiert, der nur aus sechs Flächen besteht, wirkt das weit weniger spektakulär als ein Würfel, der aus vielen Segmenten besteht und somit in hunderte Teile zerspringt. In CINEMA 4D lässt sich die Einstellung für die Anzahl an Segmente einfach in den Objekt-Eigenschaften (siehe Abbildung 30) vornehmen.



Abbildung 30: Einstellung für die Anzahl der Segmente in den Objekt-Eigenschaften (eigene Quelle)

Deformationsobjekte können nicht nur auf einzelne Objekte eingesetzt werden, sondern grundsätzlich auf alle geometrieerzeugenden Funktionalitäten, wie Abbildung 31 zeigt.

Dazu zählen:

- Partikel, sofern den Partikeln eine Geometrie zugeordnet ist
- Hair-Objekte, sofern diese als polygonale Geometrie erzeugt werden
- Die Wirkung auf Klone (Funktion *MoGraph*¹⁰ in C4D). Mit Hilfe des Matrix-Objektes sind Klonansammlungen deformierbar.

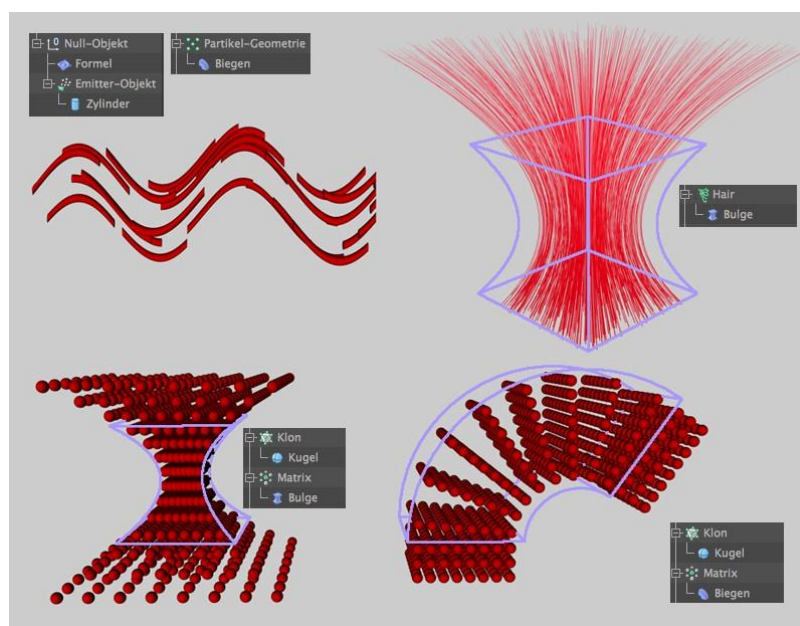


Abbildung 31: Wirkung von Deformations-Objekte auf Partikel (links oben) und Haare (rechts oben) sowie auf MoGraph-Klone in Gitteranordnung (unten). [CIN-11]

CINEMA 4D bietet dabei eine reiche Palette an Deformer-Möglichkeiten an. Die wichtigsten Deformerobjekte sind:

- Geometrische Deformatoren
- Gitter- und objektbasierte Deformatoren
- Effekt-Deformatoren

¹⁰ Motion Graphics, dazu zählen animierte Logos, tanzende Buchstaben und alle Arten bewegter, abstrakter Formen, die in der heutigen Zeit in Trailern, Intros, Titelsequenzen, Werbung, etc. eingesetzt werden. [ASA-11, S.509]

Ferner gibt es noch Splinebasierte Deformatoren und Kontroll-Deformatoren, die hier jedoch nur am Rande erwähnt werden, da diese Deformer für die Erstellung von Spezialeffekten keine wichtige Rolle spielen.

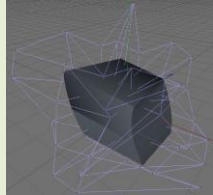
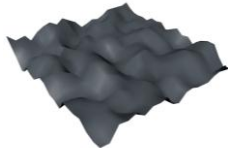
Geometrische Deformatoren finden Verwendung, wenn Objekte gebogen, verdreht, ausgebeult, geschert, gestaucht, kugelförmig deformiert oder gewickelt werden sollen. In C4D ermöglicht ein orangefarbener Greifer die Deformation interaktiv vorzunehmen. Im Einstellungsdialog lassen sich einige Parameter für die Verformung einstellen. In Tabelle 6 sind die wesentlichsten Deformationsobjekte aufgelistet.

Tabelle 6: Geometrische Deformatoren (eigene Bearbeitung)

Deformer	Icon	Beschreibung	Beispiel
Biegen		Mit dem Biege-Objekt können Objekte in ihrer Geometrie verbogen werden. Anhand eines orangefarbenen Greifer kann es interaktiv im Editor gesteuert werden.	
Bulge		Das Bulge-Objekt bewirkt eine mittige Verbreiterung oder Verschmälerung am Ausgangsobjekt.	
Scheren		Mit Hilfe des Scher-Objekts können Objekte verzerrt werden.	
Stauchen		Das Stauch-Objekt staucht oder dehnt das Objekt nach oben hin.	
Verdrehen		Das Verdreh-Objekt verdreht das Ausgangsobjekt um seine Y-Achse.	

Als *Gitter- und objektbasierte Deformatoren* fasst ASANGER [ASA-11, S.156ff] alle Deformationsobjekte zusammen, „die im weitesten Sinne ein definierbares Raster bzw. Gitternetz verwenden, um die Deformation auf den Objekten vorzunehmen“. Das Displace-Objekt und der FFD-Deformer sind die bekanntesten Deformer dieser Kategorie (siehe Tabelle 7).

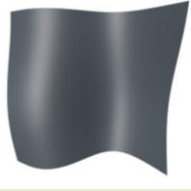
Tabelle 7: Gitter- und objektbasierte Deformatoren (eigene Bearbeitung)

Deformer	Icon	Beschreibung	Beispiel
FFD (Frei-Form-Deformation)		Das Frei-Form-Deformationsobjekt (FFD-Objekt) ist das Deformationstool schlechthin. Anhand einer beliebig einstellbaren Anzahl von Gitterpunkten kann das Objekt deformiert werden.	
Displacer		Mit dem Displace-Objekt können Oberflächen von Objekten verformt werden.	

Als *Effekt-Deformatoren* werden Deformationsobjekte zusammengefasst, die es ermöglichen, Objekte schmelzen, explodieren, zersplittern, kollidieren und im Wind flattern zu lassen. In Tabelle 8 sind diese fünf Effekte zusammengestellt. Die zeitliche Gestaltung, in der die Objekte die Verformung durchlaufen, erfolgt über die Parameterspur der Zeitleiste. Mit Hilfe von Keyframes¹¹ wird festgelegt, welche Werte zu welchem Zeitpunkt gelten sollen. [ASA-11, S.161]

¹¹ In den Keyframes werden Informationen für die Animation der Spuren gespeichert. Zwischen den Keyframes werden die an den Grenzen anliegenden Werte über eine F-Kurve interpoliert. [ASA-11, S.418f]

Tabelle 8: Effekt-Deformatoren (eigene Bearbeitung)

Deformer	Icon	Beschreibung	Beispiel
Schmelzen		Mit dem Schmelz-Objekt zerfließt das Ausgangsobjekt radial vom Mittelpunkt aus.	
Explosion		Wie beim Schmelz-Objekt explodiert beim Explosions-Objekt das Ausgangsobjekt radial vom Mittelpunkt aus. Dabei werden alle seine Polygone aufgelöst.	
Splittern		Das Splitter-Objekt bewirkt eine Zersplitterung beim Ausgangsobjekt in seine einzelnen Flächen, die auf dem Boden fallen und sich dort verteilen.	
Kollision		Dieser Deformer simuliert eine Interaktion zwischen Objekten. Wenn ein Objekt auf ein anderes definiertes Objekt trifft, kann das betreffende Objekt physisch verformt werden.	
Wind		Das Wind-Objekt erzeugt auf einem Objekt Wellen. Zu beachten ist hierbei, dass das Objekt genügend Segmente besitzt, um eine flüssige Simulation zu erhalten.	
Shrinkwrap		Mit dem Shrinkwrap-Deformer kann die Geometrie eines beliebigen Objektes stufenlos auf die Geometrie eines beliebig anderen Objekts projiziert werden.	

Das Deformations-Objekt „Shrinkwrap“ benutzt das Prinzip des Morphings. Die Transformation von Objektformen von einer Form in eine andere wird als „Morphing“ bezeichnet, welche die Kurzform von Metamorphose (engl. *metamorphosis*) ist [HEA-97, S. 588]. Beim Vorgang des Morphings wird in einer

gewissen Zeit eine Form in eine andere überführt. Das Startobjekt und das Zielobjekt, oftmals als „Target“ bezeichnet, müssen die gleiche Anzahl an Punkten und Kanten besitzen, weil jeder Punkt des Startobjekts eine Bewegung zu seiner Endposition durchführen muss [KOE-00, S.40f]. Diese Umwandlung des Ursprungobjektes in das Zielobjekt erfolgt dabei in mehreren Transformationsschritten, so JACKÉL et al. [JAC-06, S.89]. Besonders gut eignet sich Morphing für den Bereich der Spezialeffekte.



Abbildung 32: Morph-Sequenz der Kugel bis zum Target [KOE-00, S.41]

4.1.4 Licht- und Schatteneffekte

Um ansprechende und realitätsnahe 3D-Geovisualisierungen zu erzeugen, leisten Licht- und Schatteneffekte einen nicht unwichtigen Beitrag dazu. Eine korrekte Beleuchtung inklusive realistischem Schattenwurf, um Objekte oder eine Szenerie auszuleuchten, wird im 3D-Bereich ein besonderer Stellenwert beigemessen. 3D-Programme wie z.B. CINEMA 4D bieten eine reiche Palette an Licht- und Schatteneffekte an. [ASA-11, S.347]

CINEMA 4D setzt standardmäßig das in Maßen einstellbare Standardlicht ein. Laut ASANGER [ASA-11, S.347] ist es notwendig, mindestens zwei oder mehr Lichter einzusetzen, um Form und Beschaffenheit eines Objektes einwandfrei in Szene zu setzen. In CINEMA 4D befinden sich die Lichtquellen in der Licht-Objekte-Palette (Abbildung 33) sowie im Menü *Erzeugen – Licht*.

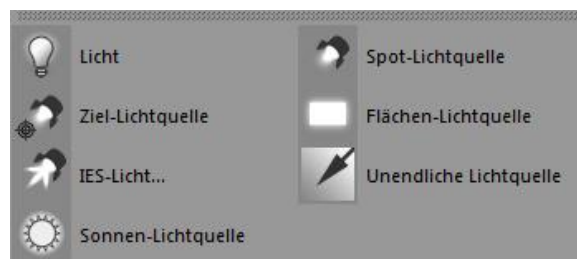


Abbildung 33: Lichtquellen in der Licht-Objekte-Palette von CINEMA 4D (eigene Quelle)

Neben der normalen Lichtquelle sowie der Ziellichtquelle bietet CINEMA 4D noch die Sonnen-Lichtquelle an, welche die Eigenschaften tageszeitbedingter Lichteinstrahlung simuliert. [ASA-11, S.347]

Die Lichtquelle präsentiert sich - abhängig vom Lichtquellentyp - als Punkt, Trichter oder spezieller Form im 3D-Editor. Die grundlegenden ersten Einstellungen wie Position, Winkel und Richtung werden mit den Objektachsen sowie den orangefarbenen Anfassern vorgenommen. Im Attribut-Manager der Lichtquelle befinden sich die Feineinstellungen für das Licht. Hier lassen sich für die Bereiche wie Farbe, Intensität, Lichttyp, Schatten, etc. Einstellungen vornehmen. Eine Lichtquelle kann nicht nur als reine Beleuchtung, sondern auch als Schattenspender oder als Sprühnebel oder Rauch verwendet werden. Um diesen Effekt zu erzeugen, muss die Beleuchtung für die Lichtquelle abgeschaltet sein. [ASA-11, S.348f]

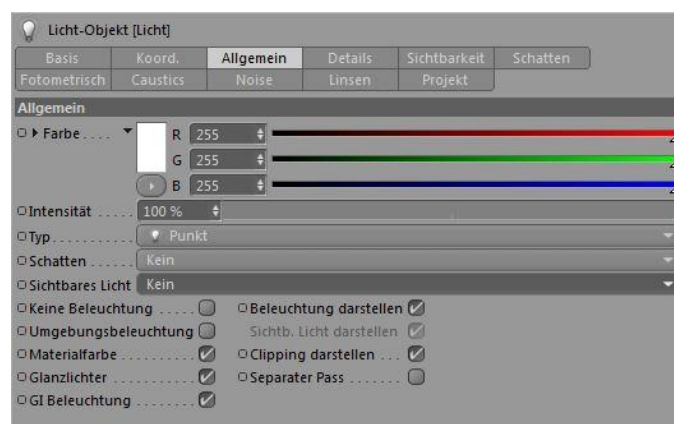


Abbildung 34: Einstellungen im Attribut-Manager für Licht-Objekt (eigene Quelle)

4.1.4.1 Lichttypen

Insgesamt verfügt CINEMA 4D über 8 verschiedene Lichttypen. Abbildung 35 zeigt die gängigen Lichttypen, die in Tabelle 9 kurz erläutert werden.

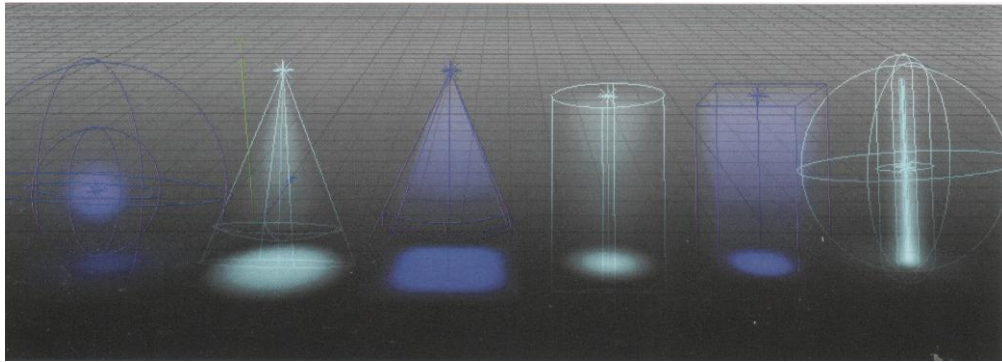
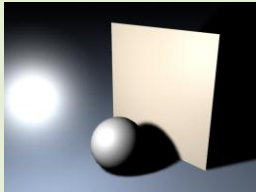
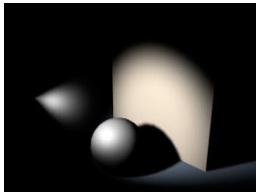
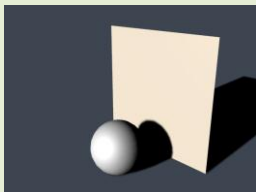
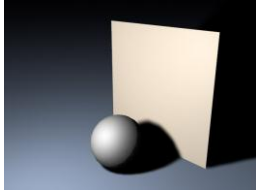


Abbildung 35: Lichttypen: Punktlcht, runder Spot, eckiger Spot, paralleler runder Spot, paralleler eckiger Spot, Flächenlicht (mit Objekttyp Linie) [ASA-11, S.350]

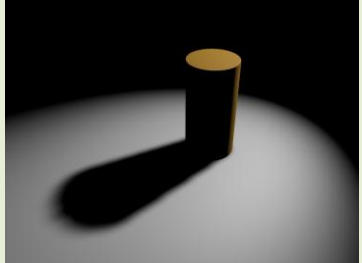
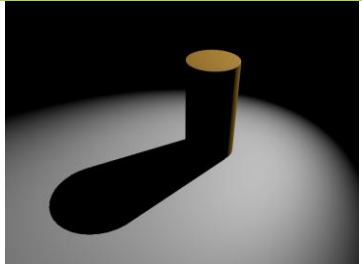
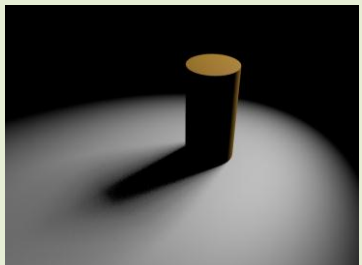
Tabelle 9: Lichttypen (eigene Bearbeitung)

Lichttyp	Beschreibung	Beispiel
Punktlichter	Punkt-Lichtquellen funktionieren im Prinzip wie Glühlampen oder die Sonne. Dieser Lichttyp strahlt von einem Mittelpunkt gleichmäßig in alle Richtungen aus.	
Spotlichter / Parallele Spots	Spot-Lichtquellen strahlen Licht nur in einem wahlweise runden oder eckigen Lichtkegel aus. Spotlichter sind gut geeignet, um bestimmte Bildbereiche oder Objekte auszuleuchten und so hervorzuheben. Parallele Spots weisen im Unterschied dazu einen gleichförmigen Lichtwurf auf.	
Unendliche Lichtquellen	Bei Unendlich-Lichtquellen wird das Licht mittels einer unendlichen Fläche abgegeben. Dieser Lichttyp wird eingesetzt, um große Flächen oder Ebenen zu beleuchten.	
Flächenlichter	Flächenlichter strahlen Licht von einem flächenförmigen Ursprung aus in alle Richtungen ab. Diese Lichtquellen können Objekte unterschiedlicher Formen sein.	

4.1.4.2 Schatten

In CINEMA 4D sind alle Lichtquellenarten mit allen Schattenarten kombinierbar. Die Software bietet einen weichen Schatten (Shadow-Maps), einen harten Schatten (Raytraced) und einen Flächenschatten an, die in Tabelle 10 genauer betrachtet werden. Verwendet wird für dieses kleine Beispiel ein Spotlicht, das auf einen Zylinder leuchtet und dabei die drei verschiedenen Schattenarten wirft.

Tabelle 10: Schattentypen (eigene Bearbeitung)

Schattentyp	Beschreibung	Beispiel
Shadow-Maps (Weich)	In der Realität werden Objekte von mehreren Lichtquellen beleuchtet. Daraus ergibt sich ein stufenloser Übergang von Licht zu Schatten. Weiche Schatten kommen nahe an die Realität heran und ergeben ein natürliches Aussehen. Der Übergang zwischen Schatten und Umfeld wird mittels Shadow-Map ermittelt und stufenlos gezeichnet.	
Raytraced (Hart)	Harte Schatten simulieren parallele Lichtquellen. Zur Berechnung benötigen harte Schatten echtes Raytracing ¹² . Harte Schatten wirken aufgrund ihrer scharfen Kanten immer etwas künstlich und sind vor allem für technische Illustrationen von Interesse.	
Fläche	Weiche Schatten sind nicht das Optimum für realistische Schatten, da der weiche Rand immer dieselbe Breite hat. In der Natur verhält sich der Schatten jedoch anders. Flächenschatten beseitigen diese Ungenauigkeit, indem sie die Tatsache berücksichtigen, dass Schatten zum Objekt hin schärfer und härter, vom Objekt entfernt aber immer weicher verlaufen. Diese Methode ist jedoch die rechenaufwendigste.	

¹² Raytracing ist ein Verfahren zur Erzeugung von 3-Dimensionalen Computergrafiken. <http://wiki.delphigl.com/index.php/Raytracing>, 22.07.2012]

In den erweiterten Einstellungen können noch Änderungen in der Dichte, der Farbe und der Transparenz des Schattens vorgenommen werden. Die Dichte stellt die Intensität des Schattens ein; 50% Dichte würde ein halbtransparenter Schatten bewirken. Die Farbe des Schattens ändert die Farbe, da in der Natur kaum ein Schatten wirklich tiefschwarz ist. Die Transparenz berücksichtigt bei transparenten Objekten auch die davon abhängige Transparenz für den Schattenwurf.

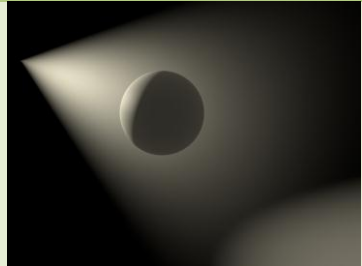
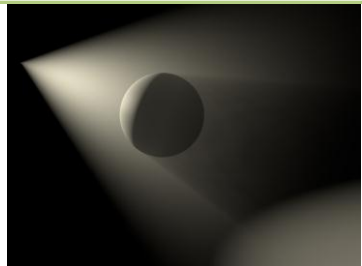
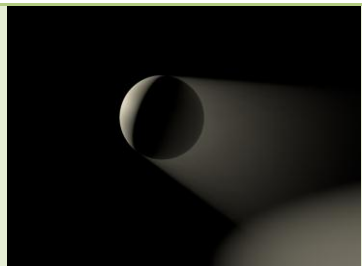
4.1.4.3 Sichtbares Licht

Lichtquellen bzw. die davon ausgehenden Lichtkegel können in CINEMA 4D sichtbar gemacht werden. Damit können aufsehenerregende Effekte erzielt werden. Der Unterschied zum normalem Licht liegt prinzipiell darin, dass *„der komplette Weg des Lichtes von der Quelle bis zum beschienenen Objekt wie eine Art Schein oder Nebel zu sehen ist“*, erklärt Asanger in [ASA-11, S.356].

Geovisualisierungen bedienen sich solcher Effekte für atmosphärische Effekte, insbesondere in Verbindung mit dem Partikelsystem. Mit Hilfe von sichtbaren Lichtquellen lassen sich z.B. Nebelschwaden, Rauch-, Rußwolken, Kometenschweife, Feuer und vieles mehr realisieren. Sichtbares Licht durchdringt Gegenstände und wird nicht von Objekten abgeschattet. Somit kann sichtbares Licht z.B. in das Zentrum einer Planetenkugel positioniert werden, um eine Atmosphäre simulieren zu können. [CIN-11] Mit den Einstellungen für Helligkeit und Staubeffekt werden Rauch- und Qualmeffekte über den Partikelsysteme erzielt. Ein niedriger Helligkeitswert sowie einem Staubanteil wird Licht entzogen und der Lichtschein wirkt dunkel und staubig. Somit eine ideale Einstellung als Partikel für einen Rauchemitter. [ASA-11, S.357]

Eine Einteilung erfolgt in normal sichtbarem, volumetrischem und invers volumetrischem Licht (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Formen des sichtbaren Lichtes (eigene Bearbeitung)

Lichttyp	Beschreibung	Beispiel
Einfaches sichtbares Licht	Einfaches sichtbares Licht gibt den gesamten Lichtkegel bzw. -radius wider. Alle Objekte, die sich im Lichtkegel befinden, werden dabei durchdrungen.	
Volumetrisches Licht	Im Gegensatz zum einfachen Licht durchdringt volumetrisches Licht die Objekte nicht. Anhand der Shadow-Map erkennen die Lichtstrahlen die Umrisse des Objekts und enden dort, wo der Körper anfängt.	
Invers volumetrisches Licht	Hierbei handelt es sich um eine Umkehrfunktion des (normal) volumetrischen Lichts. Das Licht ist genau an der Stelle sichtbar, wo der Lichtkegel normalerweise im Schatten ist.	

4.1.4.4 Noise-Effekt

Mit dem Noise-Effekt können animierte Unregelmäßigkeiten im Lichtstrahl hinzugefügt werden, um der Beleuchtung mehr Natürlichkeit zu geben und die Glaubwürdigkeit einer Szene zu erhöhen. Ein plakatives Beispiel hierfür ist der Lichtstrahl eines Autoscheinwerfers in Nebelschwaden, oder die atmosphärischen Effekte eines Planeten. Abbildung 36 zeigt dazu ein Beispiel. Die entsprechenden Einstellungen zu diesem Effekt befinden sich im Bereich *Noise* des Lichtquellendialogs.

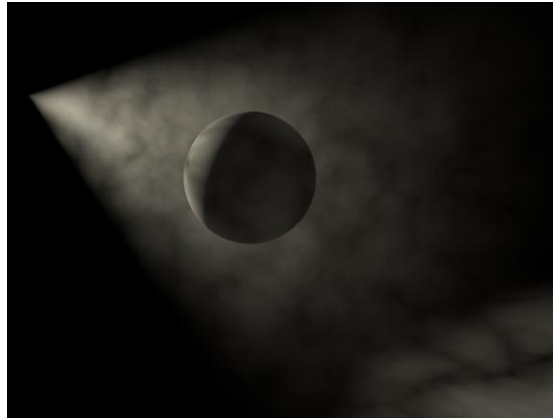


Abbildung 36: Szene mit Noise-Effekt für das Licht (eigene Bearbeitung)

Weitere interessante Effekte lassen sich mit dem Noise-Effekt im sichtbaren Licht erzeugen, wie z.B. eine Supernova (siehe Abbildung 37), indem gleichzeitig die innere und äußere Farbe des sichtbaren Lichtes auf Gelb und Rot gesetzt werden.



Abbildung 37: Eine Supernova als Beispiel für den Noise-Effekt [CIN-11]

4.1.4.5 Transparenz

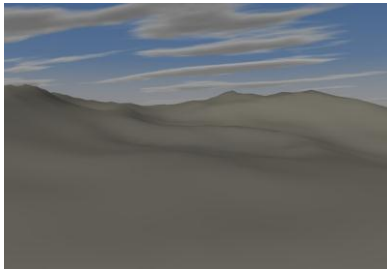
Transparenz soll an dieser Stelle ebenso als ein Effekt für Geovisualisierungen erwähnt werden. Transparenz bezeichnet die Lichtdurchlässigkeit eines Materials, erklären MACH und PETSCHKE [MAC-06, S. 69]. Denn nicht alle Oberflächen sind massiv, wie z.B. Wasser. Transparente Flächen reflektieren einen Teil des Lichts, dahinterliegende Objekte sind jedoch ebenso sichtbar. Für Geovisualisierungen spielt Transparenz beispielsweise bei geologischen Schichtenmodellen für Böden eine Rolle.

4.1.5 Umgebungseffekte

Eine 3D-Szene besteht nicht nur aus den modellierten Objekten, sondern auch aus einer Umgebung, die mal Boden, mal Himmel oder Hintergrund sein kann. Mit Hilfe des *Physikalischen Himmels* lassen sich realistische Himmels- und Wettereffekte in CINEMA 4D simulieren. Der *Physikalische Himmel* bietet nicht nur die Möglichkeit die üblichen Himmels- und Wetterumgebungen zu bestimmten Tageszeiten zu generieren, sondern auch Sterne und Planeten, 2D- und 3D-Wolken, Regenbogen, Nebel und Sonnenstrahlen zu erzeugen.

Tabelle 12 fasst die wichtigsten Umgebungseffekte zusammen.

Tabelle 12: Die wichtigsten Umgebungseffekte (eigene Bearbeitung)

Umgebungs- effekt	Beschreibung	Beispiel
Zeit und Position	In diesem Einstellungsdialog lassen sich Datums-, Zeit- und Positionsangaben einstellen, um eine passende Umgebungsbeleuchtung generieren zu können.	
Himmel	Auf der Unterseite <i>Himmel</i> des Einstellungsdialogs lassen sich Einstellungen für den Himmel vornehmen. Das Aussehen des Himmels beeinflussen dabei die natürlichen, durch Tageszeit, Feuchtigkeit oder Wärme verursachten Verhältnisse. Diese atmosphärischen Eigenschaften können mit den Parametern <i>Eintrübung</i> , <i>Ozon</i> und <i>Atmosphärenstärke</i> generiert werden.	

Sonne	Die Sonne stellt eine Flächenlichtquelle dar. Dabei wirft die Sonne eine auswählbare Schattenart (Hart, Fläche, Keiner). Die Eigenschaften der Sonnenlichtquelle können durch unterschiedliche Parameter wie z.B. Farbe, Intensität, Sättigung etc. gesteuert werden.	
Atmosphäre	Bei großen Distanzen zwischen Objekt und Betrachter in Landschaftsszenarios spielen die Atmosphärenobjekte Lichtstreuung und Absorption eine Rolle, die im entsprechenden Einstellungs-fenster zu finden sind.	
2D-Wolken	In CINEMA 4D wird zwischen 2D-Wolken und volumetrische 3D-Wolken unterschieden. Dabei werden 2D-Wolken als Shader auf den Himmel projiziert. 2D-Wolken haben einige Gestaltungsmöglichkeiten, um hochwertige Ergebnisse erzielen zu können. Der Vorteil zu den volumetrischen Wolken liegt in der schnelleren Renderzeit. Jedoch besitzt diese Wolkenform kein echtes Volumen und somit weniger Gestaltungsspielraum.	
3D-Wolken	Volumetrische Wolken sind im Gegensatz zu 2D-Wolken echte 3D-Wolken mit einer genauen Position und einer räumlichen Ausdehnung. Mit dem Wolkenwerkzeug aus dem Menü Sky lassen sich beliebige Wolkenformen an den Himmel malen.	

Nebel

Das Nebelsystem im Modus Physikalischer Himmel arbeitet echt volumetrisch auf Basis der diversen Noiseshadertypen. Diese bewirken, dass der Nebel nicht zu einheitlich und damit unrealistisch gerendert wird.



4.2 Beispiele von Spezialeffekten

In diesem Kapitel wird anhand einiger Beispiele gezeigt, wie die im vorherigen Abschnitt behandelten Techniken sinnvoll für Spezialeffekte eingesetzt werden können. Die Beispiele wurden allesamt von mir in CINEMA 4D kreiert und sollen nur einen kleinen Ausschnitt der Möglichkeiten zeigen, die mit Hilfe von 3D-Programmen umgesetzt werden können.

4.2.1 Spezialeffekte mit PyroCluster

Mit *PyroCluster* lassen sich nicht nur atmosphärische Objekte erstellen, sondern auch Wassereffekte und einiges mehr. Die beiden folgenden Beispiele zeigen einmal den Einsatz von *PyroCluster* für Feuer- und Raucheffekte sowie als animierbaren Wasserstrom.

4.2.1.1 Feuer- und Raucheffekte mit PyroCluster

Im Datei-Menü des Material-Managers von CINEMA 4D befinden sich die für pyroklastische Effekte notwendigen Shader (Abbildung 38). Hier sind alle notwendigen Einstellungen für den *PyroCluster*-Effekt wie z.B. die Art des Effektes wie Rauch, Dampf, Feuer etc. definierbar.

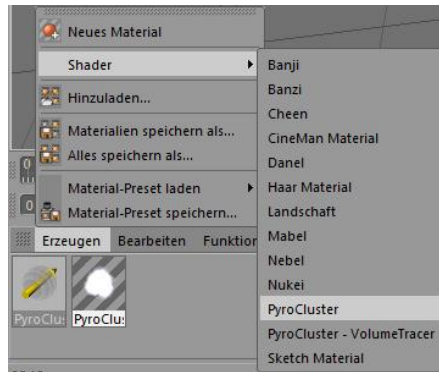


Abbildung 38: PyroCluster-Shader (eigene Quelle)

Der *PyroCluster-VolumeTracer*, der danach aufgerufen wird, sorgt für die realistische Darstellung von volumetrischen Effekten. Dieser Shader wird einem Umgebungsobjekt zugeordnet (Abbildung 39).



Abbildung 39: VolumeTracer wird dem Umgebungsobjekt hinzugefügt (eigene Quelle)

Zusammen bilden beide Objekte das Grundgerüst für den *PyroCluster*. Um den *PyroCluster*-Effekt sichtbar zu machen, bedarf es noch eines Partikel-Emitters. Ein wichtiges Element zur Steuerung des Partikelaustoßes - und damit verbunden das Aussehen des *PyroCluster*-Effektes - ist der Einstellungsdialog des Emitter-Objektes, in der z.B. die Geburtenrate, Lebensdauer und Geschwindigkeit der emittierten Partikel eingestellt werden kann. [ASA-11, S.654f]

Im Einstellungsdialog des *PyroClusters* (Abbildung 40) können weitere Einstellungen zum Aussehen des Effektes vorgenommen werden. Hier kann z.B. der Farbverlauf einer Feuerflamme bestimmt werden.

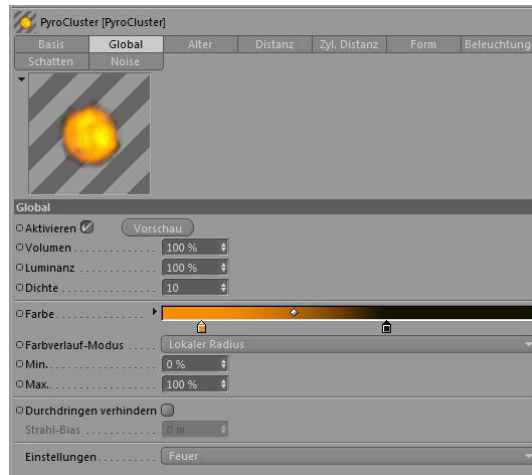


Abbildung 40: PyroCluster Shader (eigene Quelle)

Sind alle notwendigen Einstellungen vorgenommen, kann mit der Emission der Partikel begonnen werden und anschließend mit dem Rendern der Szene. Die Partikel verwandeln sich im Rendermodus in atmosphärische Effekte. Einige Beispiele für diese Spezialeffekte zeigt Abbildung 41.

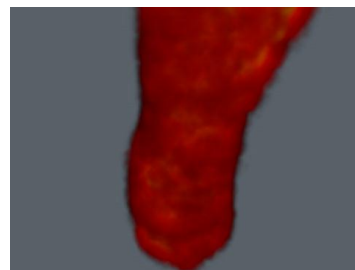
Feuer**Feuerball****Rauch****Dampf**

Abbildung 41: Beispiele für PyroCluster-Effekte (eigene Bearbeitung)

Wie diese Spezialeffekte eindrucksvoll in Geovisualisierungen eingesetzt werden können, zeigt folgende Abbildung aus dem Handbuch von CINEMA 4D, in dem ein Vulkanausbruch visualisiert wurde.



Abbildung 42: Vulkanausbruch mit PyroCluster-Effekt [C4D-11]

4.2.1.2 Wasserfall mit PyroCluster

Mit *PyroCluster*-Effekte können Wasserströme erzeugt und animiert werden. In diesem Beispiel habe ich einen Wasserfall kreiert, der mittels der *PyroCluster-Methode* geschaffen wurde.

Zu Beginn wird ein Emitter erstellt, zudem ein *Pyrocluster*- und Volume-Tracer Shader. Der *PyroCluster*-Shader wird dabei dem Emitter zugeordnet. Die Geburtsrate des Emitters wird auf 200 definiert, die Geschwindigkeit 10 Meter. Damit die Partikel gemäß der Erdanziehung nach unten fallen, muss noch ein Gravitations-Modifikator eingebaut werden, der im Objekte-Manager dem Emitter übergeordnet wird. Nachdem die Gravitations-Beschleunigung auf 50 Meter eingestellt wurde, zieht es die Partikel nach Start der Animation nach unten. Im nächsten Schritt wird das *PyroCluster* Material-Editor Fenster geöffnet. Hier werden in den Bereichen für *Form* und *Global* entsprechende Änderungen vorgenommen. Wird die Szene gerendert, wird als Ergebnis ein Wasserfall erstellt.

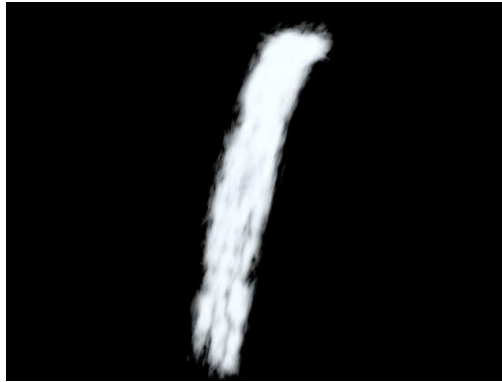


Abbildung 43: Wasserfall mit PyroCluster (eigene Bearbeitung)

Dieser Effekt kann in einem Landschafts-Hintergrundbild eingearbeitet werden. Dazu wird ein beliebiges Hintergrundbild in CINEMA 4D reingeladen, indem ein neues Material erzeugt wird und die Textur geöffnet wird. Das Partikelsystem wird dann schlussendlich noch an die gewünschte Position angepasst.



Abbildung 44: Landschaftsszene mit PyroCluster Wasserfall (eigene Bearbeitung)

4.2.2 Spezialeffekte mit Partikelsystem

Diese Beispiele zeigen weitere Möglichkeiten, mit denen ein Partikelsystem kombiniert werden kann, um somit beispielsweise Partikel als zähe Flüssigkeit oder als sprühende Funken aussehen zu lassen.

4.2.2.1 Partikelanimation mit Metaball-Objekten

In CINEMA 4D lassen sich *Metaball*-Objekte mit Partikel kombinieren, um damit Partikelsysteme für animierte Flüssigkeiten zu nutzen. Für die Verschmelzung der Partikel mit einem *Metaball* muss der Partikel-Emitter samt untergeordnetem Objekt (für die ausströmende Flüssigkeit wird ein Kugel-Objekt verwendet) dem Metaball-Objekt untergeordnet werden (siehe Abbildung 45).



Abbildung 45: Aufbau des Partikelsystems (eigene Quelle)

Nach dem Starten der Animation werden alle emittierten Partikel zu einem *Metaball*-Objekt zusammengefasst. Damit die Partikel als Ergebnis sich zu einer ausströmenden Flüssigkeit formen, sind noch ein paar Faktoren entscheidend. So darf die Partikelgröße nicht zu groß eingestellt sein und die Geschwindigkeit muss angepasst werden. Damit die Partikel nicht nur linear aus dem Emitter austreten, sondern nach der Emission durch die Gravitation nach unten fallen, müssen noch Modifikatoren definiert werden. Der Gravitations-Modifikator sorgt für die Erdanziehungskraft; ein Reflektor lässt die Partikel wie auf einem Boden aufprallen und die Reibung sorgt dafür, dass sich die Partikel anhäufen. Somit ergibt sich eine zäh auslaufende Flüssigkeit, wie in Abbildung 46 zu sehen ist.



Abbildung 46: Beispiel für Metaball-Partikel (eigene Bearbeitung)

4.2.2.2 Partikelanimation mit Lichtquellen

Eine weitere Möglichkeit für Spezialeffekte mit Partikelsystemen ist es Partikel mit Lichtquellen zu kombinieren, um einen Effekt wie beispielsweise sprühende Funken zu erhalten. Zunächst wird eine Lichtquelle erzeugt, die Werte so hingehend verändert, dass die Lichtquelle die Farben und Gestalt von Funken annehmen. Dann wird ein Emitter erzeugt, welcher der Lichtquelle übergeordnet wird. Zu guter Letzt wird die Animation gestartet, damit die Partikel emittiert werden, um als gerendertes Ergebnis sprühende Funken wie bei einem Kometenschweif zu bekommen.

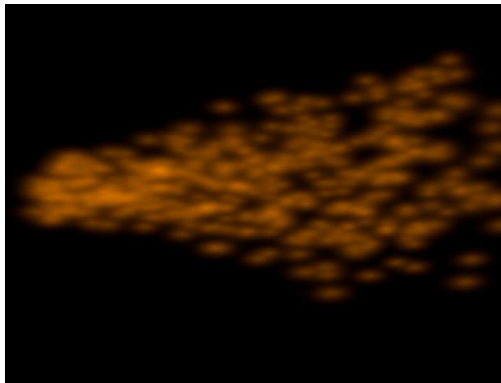


Abbildung 47: Partikelanimation mit Lichtquellen (eigene Bearbeitung)

4.2.3 Spezialeffekte mit Umgebungsobjekte

Diese Effekte haben ihren Zweck eine Szene mehr Atmosphäre zu verleihen.

Als Beispiel sei an dieser Stelle der Einsatz von diversen Umgebungsobjekten wie beispielsweise Nebel angeführt. Grundsätzlich gibt es viele Formen von Nebel. Deshalb sollte eine Nebelfunktion in 3D-Programmen – so BEZEL & KOBZAN [BEZ-96, S.517-521] – die auch berücksichtigen können.

Die Nebelfunktion kommt nicht nur für die Simulation von klimatischen Bedingungen zum Einsatz, sondern auch um eine bestimmte Stimmung zu erzeugen oder als Hintergrundkulisse verwendet zu werden. Beispielsweise bei Stadtvisualisierungen wird Nebel für die Hintergrundkulisse brauchbar, um entfernten Großstadtdunst zu simulieren. [BEZ-96, S.522f]

In einer Stadtszene sollen Umgebungsobjekte wie Himmel, Sonne, Wolken und Nebel erstellt werden. Dazu wird ein *Physikalischer Himmel* erzeugt. Im Physikalischen Nebel ist ein Nebelsystem integriert, wo weitere Feineinstellungen wie Höhe, Dichte etc. gesteuert werden können (siehe Abbildung 48).

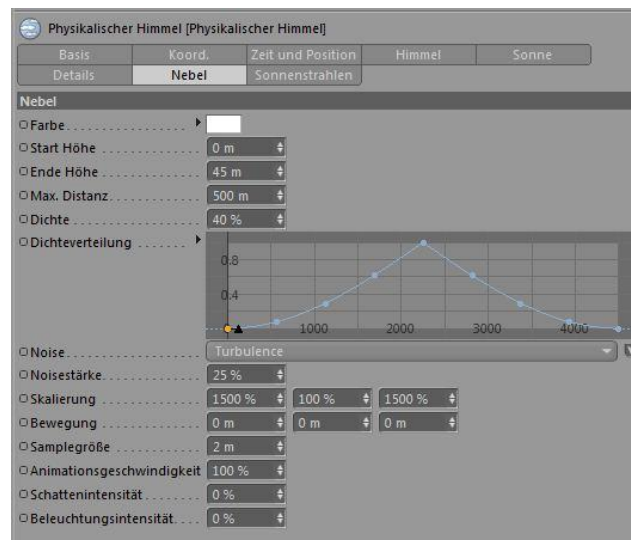


Abbildung 48: Einstellungen für das Nebelsystem (eigene Quelle)

Dabei handelt es sich um einen echten volumetrischen Nebel auf Basis der diversen Noiseshadertypen. Diese tragen dazu bei, dass der Nebel nicht zu homogen und damit unrealistisch gerendert wird. Das Ergebnis ist auf Abbildung 49 zu sehen.



Abbildung 49: Stadtszene mit Umgebungsobjekte (eigene Bearbeitung)

4.2.4 Spezialeffekte mit Plug-Ins für CINEMA 4D

Für CINEMA 4D wurden eine Vielzahl an Plug-Ins entwickelt. Eines, welches ich an dieser Stelle kurz vorstellen werde, ist das kostenlose Plug-In *Thrausi*¹³. Mit diesem Plug-In ist es möglich, Objekte in seine Einzelteile zu zerlegen. Dieser Spezialeffekt kann in Geovisualisierungen beispielsweise bei Erdbebensimulationen angewendet werden.

Nachdem das Plug-In von der Webseite des Entwicklers heruntergeladen wurde und in CINEMA 4D integriert wurde, kann *Thrausi* über *Plug-Ins* in der Menüleiste gestartet werden. Im Einstellungsfenster (Abbildung 50) befinden sich einige Parameter, die definiert werden können. So kann z.B. bestimmt werden, in wie viele Bruchstücke das Objekt zerfällt.

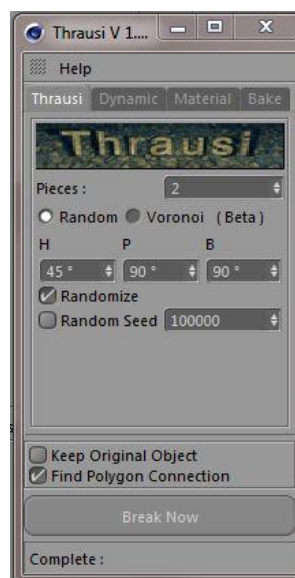


Abbildung 50: Einstellungsfenster von Thrausi (eigene Quelle)

Gestartet wird die Simulation mittels „Break Now“, dadurch wird das Objekt in seine Einzelteile zerlegt. Nach Starten der Animation zerfällt das Objekt in seine Einzelteile. Abbildung 51 zeigt in vier Schritten den Einsturz eines Gebäudes mit Hilfe von *Thrausi*.

¹³ <http://nitro4d.com/blog/freebie/thrausi/> [23.08.2012]

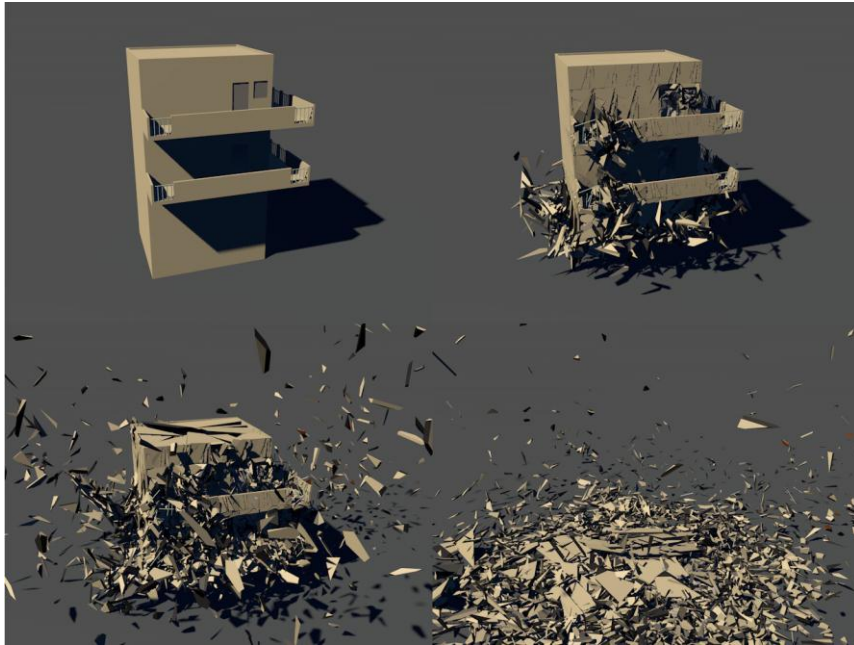


Abbildung 51: Einsturz eines Gebäudes mit Thrausi (eigene Bearbeitung)

Zusammenfassend wurden in diesem Kapitel Beispiele gezeigt, in denen Spezialeffekte mit den im vorherigen Kapitel 4.1 vorgestellten Techniken angewendet wurden.

4.3 Anwendungsbeispiele

Zum Abschluss werden drei Beispiele vorgestellt, um das bisher vorgestellte Spektrum an Spezialeffekten anhand von Visualisierungen, an denen die Techniken für dreidimensional entworfene Spezialeffekte angewendet wurden abzudecken. Dabei handelt es sich um 3D-Geovisualisierungen aus den verschiedensten Bereichen. Zu Beginn wird eine 3D-Applikation für die Visualisierung von Waldbränden auf der Insel Gran Canaria vorgestellt. Dann folgen zwei Anwendungsmöglichkeiten der Geovisualisierungen von Gletscher-rückgängen. Zuletzt stellt ein Beispiel aus dem Bereich der Archäologie dar, wie Spezialeffekte für die Präsentation von Ausgrabungsstätten genutzt werden können. Beim letzten Anwendungsbeispiel handelt es sich um eine von mir persönlich erstellte Visualisierung, die ich mit CINEMA 4D erstellt habe. Die Beispiele davor stammen aus Internetrecherchen.

4.3.1 3D-Visualisierung und Vorhersage von Waldbränden in einem 3D-GIS

Dieses Beispiel¹⁴ beschreibt ein Vorhersagesystem für Waldbrände auf Gran Canaria basierend auf einer dreidimensionalen virtuellen Umgebung und einer Feuer Simulations-Engine. Dabei wird die Ausbreitung eines Brandes auf dem Gelände virtuell simuliert und visualisiert mit Berücksichtigung der räumlichen Information über die Topographie und Vegetation sowie der aktuellen Wetter- und Winddaten. Für die Simulation und möglichst realitätsnahe Ausbreitung des Feuers ist das FARSITE¹⁵ Simulationsmodell verantwortlich. Während dieser Echtzeitvisualisierung der Waldbrände ist das System mit dem Internet verbunden, um sich aktuelle meteorologische Daten zu beschaffen. Die Anwendung implementiert dann eine realistische 3D-Visualisierung der Brand-Entwicklung in der Landschaft.

Waldbrände können katastrophale Konsequenzen auslösen. Gerade Förster und die Feuerwehr benötigen neue Instrumente für die Entscheidungsfindung, und das nicht erst, wenn ein Waldbrand schon ausgebrochen ist, sondern schon bevor die Brände ausbrechen. Das endgültige Ziel für dieses Prognosesystem sollte sein, eine realistische 3D-Visualisierung des gesamten Interessensgebietes zu gewährleisten, damit diese als Assistent von lokalen Diensten in Waldbrändesituationen dienen kann, einschließlich der Live-Visualisierung der verschiedenen Rettungs- und Löscheinheiten im Einsatzgebiet. Das Prognosesystem sollte nicht nur die Waldbrände in einer realistischen 3D-Landschaft visualisieren können, sondern auch die Entwicklung bzw. Ausbreitung des Feuers hinsichtlich der Vegetationsmerkmale des geographischen Gebietes sowie der Wetterbedingungen möglichst genau abschätzen können.

Die virtuelle 3D-Landschaft basiert auf der Software *Capaware*. Abbildung 52 zeigt die Insel Gran Canaria mit verschiedenen Informationsebenen (*Layer*).

¹⁴ Quelle: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300410002165> [26.05.2012]

¹⁵ FARSITE Fire Simulation Model: <http://www.firemodels.org/index.php/national-systems/farsite> [26.05.12]

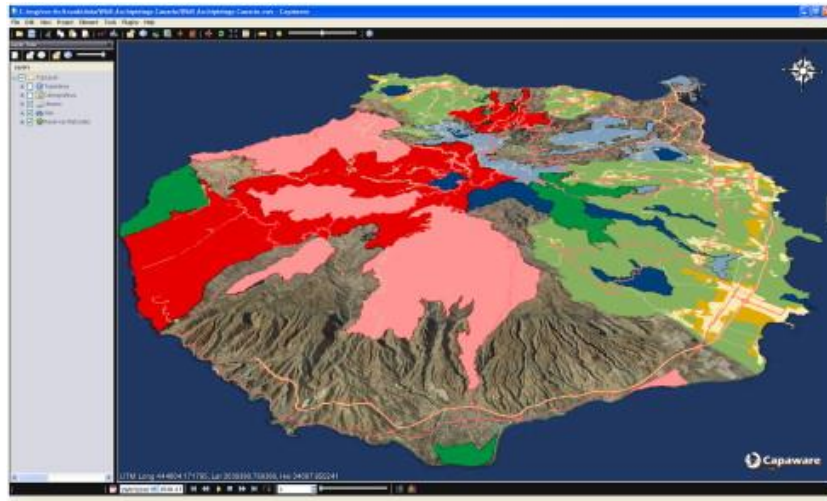


Abbildung 52: Die Insel Gran Canaria mit verschiedenen Layern mittels Software Capaware [CAS-10, S.391]

Für die Modellierung des Feuers wird FARSITE verwendet. FARSITE ist ein beliebter Feuer- und Wachstumssimulator, entwickelt vom *Department of Agriculture of the United States*. Dabei nutzt FARSITE die räumlichen Informationen über die Topographie und Vegetation des Gebietes zusammen mit Wetter- und Winddaten.

Die Feuer-Visualisierung basiert auf zwei Partikelsysteme, um jeweils die Flamme und den Rauch zu modellieren. Die verbrannte Fläche wird mit einer dunklen Textur während der Animation überzogen. Dabei wächst die dunkle Fläche gleichzeitig mit dem Ausbreiten des Feuers (siehe Abbildung 54). Die Ausbreitung der Flamme wird mittels einer Morphing-Technik durchgeführt.

Um die Menge an Informationen zu reduzieren, wird die Visualisierung des Feuers in Abhängigkeit der Distanz vom Betrachter auf das Gelände modifiziert. Eine *Level of Detail* (LOD) Strategie kommt hier zum Einsatz, um die zugrunde liegenden Polygonnetze und die Anzahl an Partikeln und Flammen abhängig von der Entfernung der Kamera zu reduzieren. Der Zweck dieser LOD-Strategie ist es, das Erscheinungsbild der Szene so realistisch wie möglich zu halten bei gleichzeitiger Reduzierung der Grafikkomplexität. Wenn der Anwender der Visualisierung weiter entfernt ist, ist es nicht notwendig, viele Details zu zeigen, aber wenn der Anwender näher an der Szene, so müssen die grafischen Details

erhöht werden. Die Größe des Partikelsystems wird in Abhängigkeit zur Kamera-
distanz modifiziert, wie in Abbildung 53 sichtbar ist.

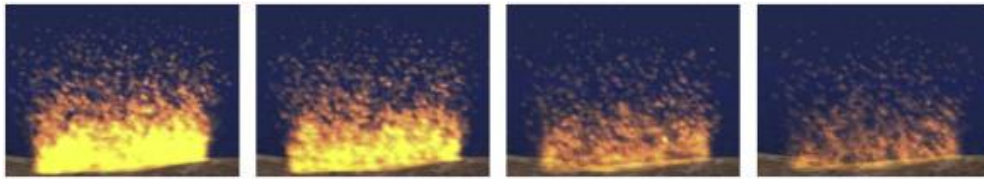


Abbildung 53: Level of Detail (LOD) für das Partikelsystem [CAS-10, S.395]



Abbildung 54: 3D-Visualisierung von Waldbränden [CAS-10, S.392]

Zudem ist es möglich, den verbrannten Bereich mit verschiedenen Farben zu überziehen. Das ermöglicht dem Benutzer, den Ursprung des Feuers und die zeitliche Entwicklung bzw. Ausbreitung analysieren zu können, wie in Abbildung 55 zu sehen ist. Der rote Bereich repräsentiert kürzlich verbrannte Areale, der blaue Bereich vor längerer Zeit verbrannte Gebiete.

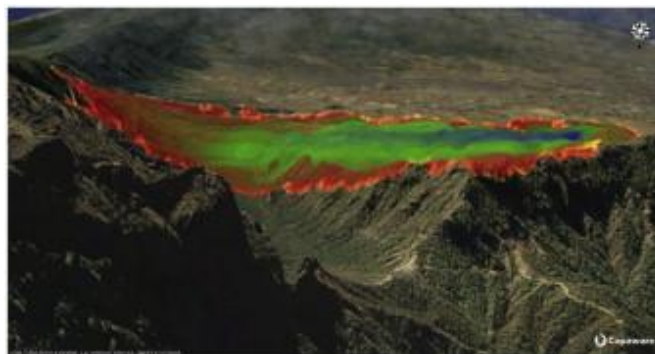


Abbildung 55: Visualisierung zeigt anhand von verschiedenen Farbwerten die zeitliche Ausbreitung des Waldbrandes [CAS-10, S.394]

3D-Visualisierungen von Waldbränden bieten realistische Darstellungen, die nützlich für Feuerwehrleute und Förster sind. Aber auch in anderen Anwendungen wie z.B. in der Ausbildung von Notfallsituationen können 3D-Feuervisualisierungen von Interesse sein, da solche Visualisierungen für Trainingssituationen genutzt werden können, wo es in einem realen Szenario möglicherweise zu gefährlich oder zu teuer sein könnte. Dieses hier vorgestellte Beispiel des 3D-Waldbrände-System wurde in La Palma, Spanien, eingesetzt und angewendet. Die spanischen Entwickler dieses Prognosesystems erwarten sich eine zunehmende Nutzung mit dem Ziel, die verheerenden Folgen von Waldbränden eindämmen zu können.

4.3.2 3D-Visualisierung von Gletscherrückgängen

Zur besseren Darstellung von Gletscherrückgängen über einen größeren Zeitraum werden oftmals 3D-Geovisualisierungen verwendet. In diesem Beispiel von der Technischen Universität Dresden wird der Gletscherrückgang im Dachsteinmassiv dargestellt. [BRU-10, S. 17ff]

Der Rückgang der Gletscher stellt ein globales, durch den Klimawandel hervorgerufenen Phänomen dar. Dies gilt auch für das Dachsteinmassiv in den österreichischen Ostalpen. Basierend auf historischen und aktuellen Karten sowie Messungen des Moränenstands in den Jahren 1850, 1950 und 2002 konnten diese als Input für fotorealistische Rekonstruktionen und Visualisierungen des jeweiligen Gletscherstands verwendet werden. Ein detailliertes digitales Geländemodell sowie Luftaufnahmen wurden von der Landesregierung der Steiermark und dem Joanneum Research Graz¹⁶ zur Verfügung gestellt. Verwendet wurden für diese Geovisualisierung die Softwareprodukte ERDAS *Imagine* 9.1, ESRI *ArcGIS* 9.2, 3D Nature *Visual Nature Studio* 3 (VNS), Digi-Art *3DZ Extreme* and Avaron *Tucan* 7.2.

¹⁶ <http://www.joanneum.at/>

Zunächst wurden drei einzelne Simulationen der Landschaft berechnet, um einen realistischen Eindruck auf das Dachsteinmassiv und seine Gletscher in den Jahren 1850, 1915 und 2002 zu erhalten. Als nächsten Schritt wurde eine dynamische 3D-Visualisierung des Gletscherrückganges erzeugt, in der die Abnahme in der Dicke des Gletschermassivs zu sehen ist.

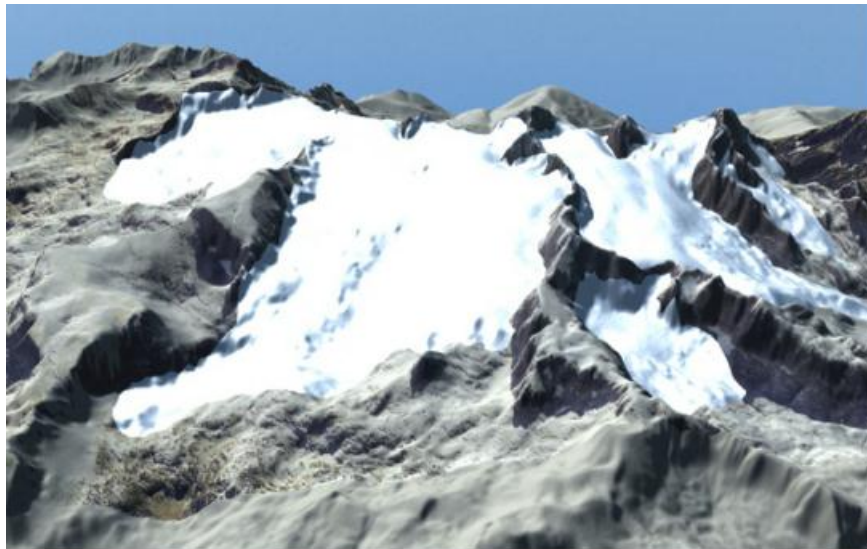


Abbildung 56: Screenshot aus der Animation des Dachstein Gletschers im Jahr 1850
[BRU-10, S.23]

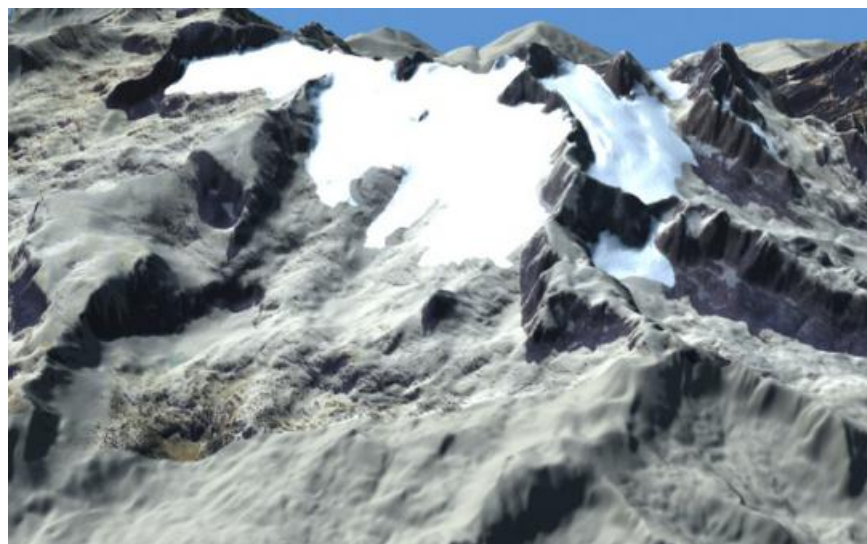


Abbildung 57: Screenshot aus der Animation des Dachstein Gletschers im Jahr 2002
[BRU-10, S.23]

Die Konstruktion der drei Gletscher Zustände wurde mit der 3D-Visualisierungssoftware *Visual Nature Studio* von *3D Nature* realisiert. Mit diesem Softwareprodukt ist es möglich verschiedene GIS oder raumbezogene Daten wie CAD DXF, Arc ASCII-Daten, verschiedene Bildformate (TIFF, JPEG, ...) und Vektor Shape-Dateien in ein Referenzsystem zu importieren. Für die Erstellung der Geländeoberfläche werden die Geländedaten als ASCII-Daten geladen und die Oberfläche mit einem Luftbild texturiert. Anschließend werden die importierten Vektordaten für die Modellierung des Gletschers verwendet. Mit Hilfe des *snow effect* Werkzeugs der Software werden die Vektorpolygone als Schnee texturiert. Mit nur wenigen Bearbeitungsschritten wurden drei nahezu fotorealistische Modelle des Dachstein Gletschers zu unterschiedlichen Zeitpunkten erstellt.

Für die Animation des Gletscherrückgangs über die Jahrzehnte benötigt es einer besonderen Modellierung, und zwar einer dynamischen Visualisierung, welche mit der Software *Tucan* realisiert wurde. *Tucan* wurde für die Darstellung des in Echtzeit berechneten 3D-Modells verwendet, um einen realistischen Rückgang des Gletschers zu modellieren und animieren.

Solche Animationen von Geovisualisierungen könnten zu einem besseren Verständnis von komplexen Geoprozessen wie in diesem Beispiel gezeigten Gletscherrückgang führen.

Als ein weiteres Beispiel für eine Geovisualisierung soll hier kurz der Gletscherrückgang im *Glacier National Park* in Montana (USA) erwähnt werden. In Abbildung 58 ist der Rückgang anhand der Geovisualisierung gut erkennbar; zudem zeigen die Ausschnitte der Animation auch eine Veränderung der Vegetation. Deutlich zu erkennen sind der Rückgang der Eisflächen (weiße Flächen), und das Vordringen der Vegetation (grüne Fläche).¹⁷ Die Animation (URL zur Animation siehe Fußnote) springt in 10-Jahres-Abschnitten nach vor

¹⁷ URL zur Animation: http://nrmssc.usgs.gov/files/norock/research/glacier_animation.gif [Letzter Zugriff: 14.06.2012]

und visualisiert dabei den Rückgang des Gletschers und die Veränderung der Vegetationszonen.

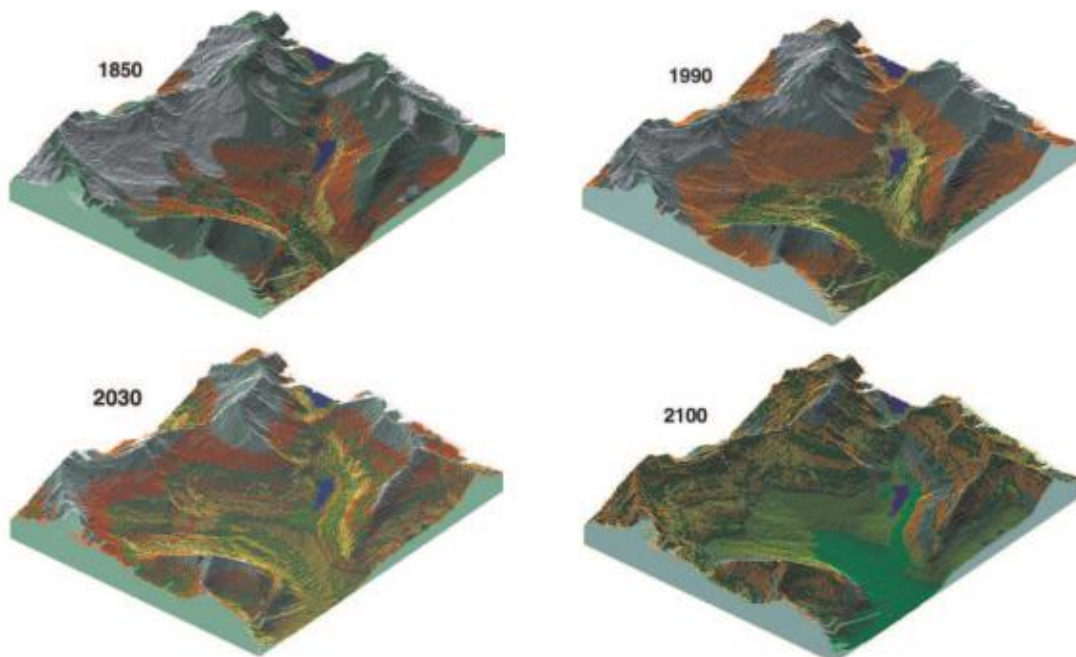


Abbildung 58: Screenshots aus der Animation des Gletscherrückgangs im Blackfoot-Jackson Becken im Glacier National Park von 1850 bis 2100 [HAL-03, S.139]

Hier wird gezeigt, wie mit dem Morphingeffekt so eine Animation für den Betrachter wirkungsvoll eingesetzt werden kann. Zudem kann neben der bisherigen Entwicklung des Gletschers auch eine zukünftige Prognose der Entwicklung des Gletschers und damit verbunden die Veränderung der Vegetationszonen in der Animation eingebaut werden.

4.3.3 3D-Visualisierung der Meidum Pyramide

Bei dieser 3D-Visualisierung handelt es sich um ein von mir erstelltem Projekt. Im Zuge einer Projekt-Präsentation eines Studenten der Ägyptologie von der Universität Wien sollte ich auf Basis von Plänen ein drei-dimensionales Modell der Meidum Pyramide in Ägypten kreieren.

Meine Vorüberlegungen habe ich in Abbildung 59 in einer Mind-Map dargestellt.

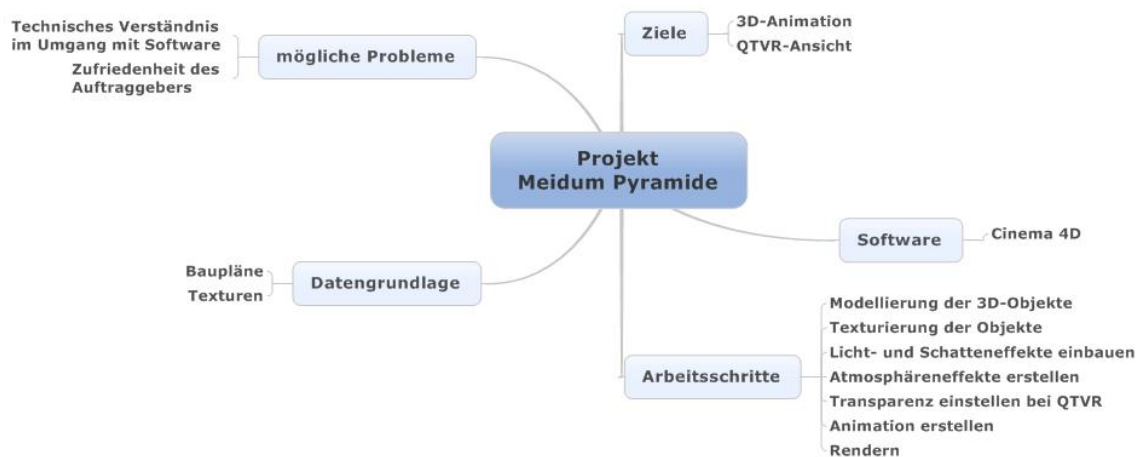


Abbildung 59: Mind-Map für das Projekt "Meidum Pyramide" (eigene Bearbeitung)

Zielsetzung

Das Ergebnis sollte aus zwei Teilen bestehen; erstens soll eine 3D-Visualisierung der Pyramidenanlage und kurze Animation erstellt werden, in dem ein im Zeitraffer beschleunigter Tagesablauf animiert wird. Die Animation soll eine bessere Veranschaulichung der Pyramidenanlage, die heute nur noch eine Ruine ist, darstellen. Die Länge der Animation sollte sich im Bereich von etwa 15 bis 20 Sekunden belaufen.

Das zweite Ergebnis soll eine QTVR¹⁸ Ansicht der Pyramide werden. Damit ist es möglich die Pyramide in einer 360° Sichtweise betrachten zu können. Dies geschieht, in dem mittels Mauszeiger die 3D-Visualisierung in jegliche Richtung gedreht werden kann. Zudem soll die Außenhülle des Pyramidenobjekts transparent sein, um die inneren Katakomben sehen zu können.

Software

Die Erstellung der 3D-Visualisierung und Animation erfolgte mittels der 3D-Software CINEMA 4D (Version 13) der Firma MAXON. Auf Grund meiner Erfahrungen mit CINEMA 4D wurde diese Software von mir ausgewählt.

¹⁸ QTVR steht für QuickTime Virtual Reality und ist eine plattformunabhängige, auf der QuickTime-Technologie basierende, von Apple entwickelte Erweiterung, welche dem Anwender erlaubt, dreidimensionale virtuelle Welten zu durchwandern. [RIE-11, S.127]

Datengrundlage

Als Grundlage für die Pyramidenobjekte erhielt ich Kopien der Baupläne der Anlage. Auf den Skizzen sind auf der Vorder- und Draufsicht (Abbildung 60 und Abbildung 61) die Maßen in Meter angegeben, dies sollte mir als Basis zur Erstellung dienen. Das Kammersystem im Inneren der Pyramide zeigt Abbildung 62.

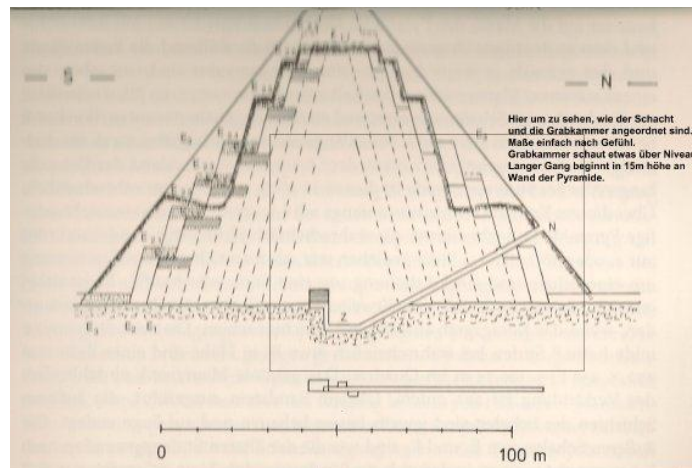


Abbildung 60: Vorderansicht der Meidum Pyramide

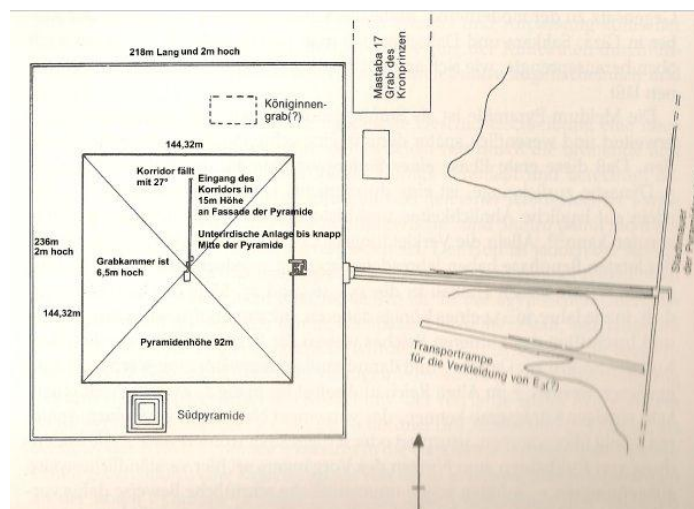


Abbildung 61: Draufsicht der Meidum Pyramide

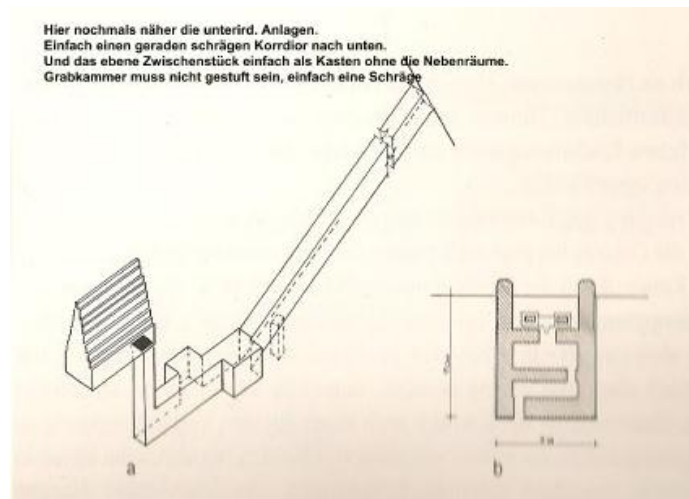


Abbildung 62: Kammersystem der Pyramide

Die diversen Texturen für die Objekte sowie für die Umgebung bezog ich von der Webseite www.c4dtextures.com.

Mögliche Probleme

Wenn es Probleme in der Umsetzung geben sollte, dann noch am ehesten im Umgang mit der Software CINEMA 4D. Abhilfe bei eventuell entstehenden Problemen schaffen Tutorials und Foren zum Thema CINEMA 4D.

Arbeitsschritte im Überblick

Zuerst wurde mit der Umsetzung einer QTVR Ansicht der Pyramide begonnen. Die wichtigsten Arbeitsschritte in CINEMA 4D waren:

- Modellierung der 3D-Objekte der Pyramidenanlage auf Basis der realen Messwerte der Baupläne. Dabei war zu beachten, einen Gang zur Grabkammer (Kammersystem) im Inneren der Pyramide zu kreieren.
- Umstellung der Sichtbarkeit des Pyramidenobjekts auf einen geringeren Prozentwert, um somit Transparenz zu erhalten. Damit soll das Kammersystem im Inneren der Pyramide sichtbar gemacht werden.

- Notwendigen Einstellungen für das Rendern vornehmen, damit das Ergebnis als QTVR erstellt wird.

Die wesentlichen Arbeitsschritte in CINEMA 4D für die Erstellung einer 3D-Visualisierung der Pyramidenanlage sowie einer kurzen Animation waren:

- Modellierung einer digitalen Geländeoberfläche für die Szene
- Texturierung der 3D-Objekte und der Geländeoberfläche
- Einbau eines Lichtszenarios für die Simulation der Sonne
- Erstellung der Animation. Die Kamera bleibt starr auf die Pyramidenanlage fixiert, jedoch wandert die Lichtkugel, welche die Sonne simuliert, folglich ihrem Tagesrhythmus von Osten nach Westen.
- Zum Abschluss noch das Rendern, um eine Ausgabe in einem Videoformat zu erhalten. Der Tagesablauf in der Animation wird dabei beschleunigt und das Video auf ca. 15 Sekunden Länge begrenzt.

Ergebnisse

Das Ergebnis der QTVR-Ansicht lässt sich mit dem *QuickTime Player* von Apple öffnen. Mit gedrückter Maustaste und gleichzeitigem Ziehen des Mauszeigers ist es möglich die Pyramide in einer 360° Ansicht zu drehen.

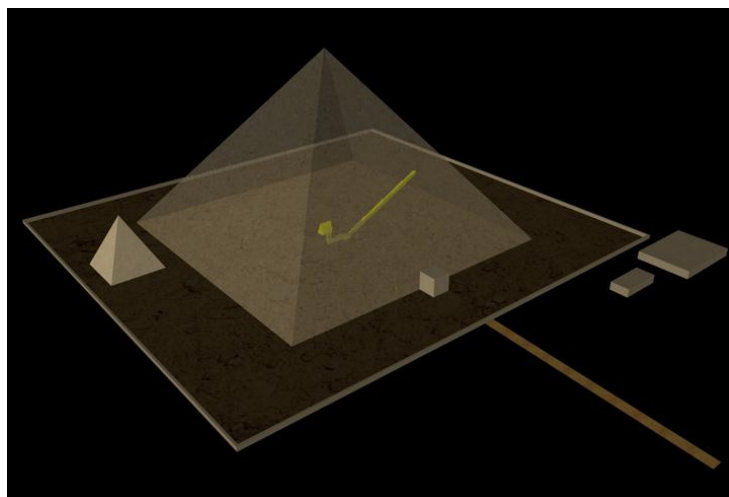


Abbildung 63: QTVR Ansicht der Pyramide (eigene Bearbeitung)

In Abbildung 64 zeigt ein gerendertes Screenshot der 3D-Visualisierung die hier verwendeten Effekte für Licht- und Schatteneffekte, um eine realistische Szene für die 3D-Visualisierung der Meidum Pyramide zu erhalten.

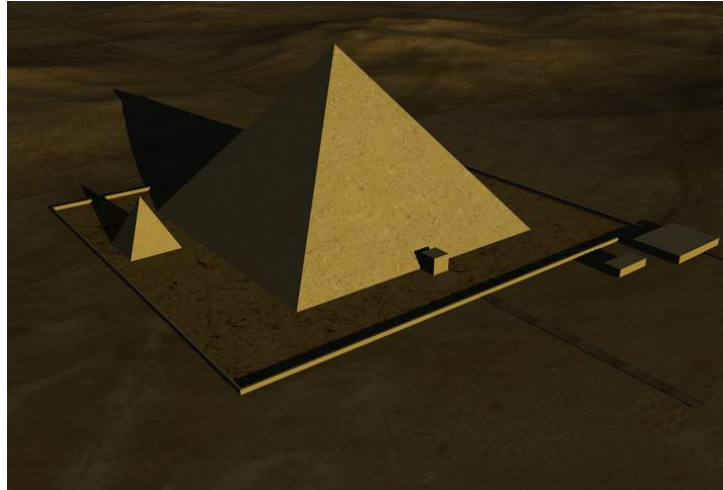


Abbildung 64: 3D-Visualisierung der Meidum-Pyramide (eigene Bearbeitung)

Fazit

Dieses abschließende Beispiel zeigt die Anwendungsmöglichkeiten von 3D-Visualisierungen im Bereich der Archäologie. Hier machen 3D-Visualisierungen Sinn bei archäologischen Anlagen, die in unserer heutigen Zeit nur noch als Ruine bestehen. Mittels 3D-Visualisierungen können solche Anlagen wieder in ihrem ursprünglichen Zustand dargestellt werden. Mit Nutzung des Transparenz-Effekts besteht die Möglichkeit in Gebäuden „hineinzublicken“, um so beispielsweise das Innere wie ein Grabkammersystem zu erkunden. Licht- und Schatteneffekte stellen mit Hilfe der Zeit- und Position-Einstellung von CINEMA 4D einen natürlichen Tagesablauf dar. Probleme in der Modellierung der Objekte und Erstellung der Animation traten keine nennenswerten auf. Die Ergebnisse wurden im Zuge einer Projektpräsentation für eine Lehrveranstaltung des Studiums für Archäologie vorgezeigt und erhielten ein positives Feedback.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Diplomarbeit legt die theoretischen Grundlagen und technischen Möglichkeiten für die Erstellung von digital erzeugten Spezialeffekten in dreidimensionalen Geovisualisierungen dar.

Der theoretische Teil der Arbeit macht es sich zur Aufgabe die Grundlagen aus den Bereichen Geovisualisierung und Spezialeffekte zu erläutern, um ein Basisverständnis für den praktischen Teil zu schaffen.

Auf die erste der Forschungsfragen wird größtenteils in Kapitel 2.2 sowie 2.5 eingegangen, wo die Entwicklung der Visualisierung beleuchtet wird. Die 3D-Visualisierung hat sich zu einem wichtigen Medium in der Kartographie und Geoinformation entwickelt. Eng verbunden mit den technologischen Fortschritten in der Computertechnologie konnten sich Kartographen und Geoinformatiker die Möglichkeiten der 3D-Technik für Geovisualisierungen und Animationen zu Nutze machen, um interaktive, realistische und dynamische Ergebnisse darstellen zu können.

Die zweite Fragestellung befasste sich mit dem aktuellen Stand auf dem Gebiet der 3D-Visualisierung, die vor allem in Kapitel 2.5 behandelt wurde. Der praktische Einsatz der Dreidimensionalität in Visualisierungen bietet viele neue Möglichkeiten im Umgang mit geographischen Daten. Die technologischen Entwicklungen im Computerbereich der vergangenen Jahrzehnte eröffneten auch im Bereich der Kartographie und Geoinformation neue Möglichkeiten und Wege, um Daten effizienter bearbeiten und Ergebnisse besser darstellen zu können. Heutzutage ist die Dreidimensionalität in Geovisualisierungen kaum mehr wegzudenken und die Verwendung von 3D-Visualisierungen in den verschiedensten Bereichen findet immer häufiger Verwendung.

In Kapitel 4.1 wird auf die Forschungsfrage eingegangen, welche Techniken es gibt, um digitale Spezialeffekte zu erzeugen. Dabei liegt der Fokus auf Techniken und Werkzeuge, die normalerweise in 3D-Programmen wie z.B. CINEMA 4D zu

finden sind. Das Kapitel gibt einen Überblick über die gängigsten Methoden zur Erzeugung von Effekten, nämlich Partikeleffekte, PyroCluster-Effekte, Deformationseffekte, Licht- und Schatteneffekte sowie Umgebungseffekte. Partikeleffekte kommen in vielen Filmproduktionen, Dokumentationen und Animationen sowie Geovisualisierungen zum Einsatz, wenn es darum geht Effekte wie Feuer, Explosionen, Rauch, Dampf, Wasserfontänen und einiges mehr zu erzeugen. Natur- und Atmosphäreneffekte gehören zu den komplexesten und aufwendigsten Render-Effekten. Mit dem PyroCluster-Tool ist es möglich realistische atmosphärische Effekte wie Nebel und Wolken, Feuer- und Raucheffekte aber auch Wassereffekte zu erschaffen. Spezialeffekte nutzen oftmals die Technik der Deformationseffekte für dynamische Formänderungen von Objekten. Eine weitere Möglichkeit zur Animation von Geländedaten ist die Anwendung von Morphing. Mit dem Morphing können Objekte von ihrer Ursprungsform in eine andere Form umgewandelt werden. Licht- und Schatteneffekte leisten einen nicht unwichtigen Beitrag, um ansprechende und realitätsnahe 3D-Geovisualisierungen entstehen zu lassen. Umgebungseffekte wie Himmel, Sonne, Atmosphäre, Wolken und Nebel runden das Ganze ab.

Wie Spezialeffekte in 3D-Geovisualisierungen eingesetzt und angewendet werden können, zeigen die Kapitel 4.2 und 4.3 anhand einiger Beispiele. Mit dem PyroCluster-Tool lassen sich atmosphärische Effekte erzeugen. Die Beispiele zeigen den Einsatz dieser Technik für Feuer- und Raucheffekte sowie als animierbaren Wasserstrom. Sinnvoll einsetzen für Geovisualisierungen lassen sich diese Effekte für beispielsweise einen Vulkanausbruch oder Waldbrände. Mit Partikelsystemen können weitere Feuer- und Raucheffekte animiert werden. Jedoch ist diese Methode in anderen Bereichen sinnvoll einsetzbar, wie die Beispiele gezeigt haben. In Verbindung mit Metaball-Objekten lassen sich zäh fließende Flüssigkeiten animieren, wie z.B. ein auslaufender Lavastrom; oder in Kombination mit Lichtquellen, um als gerendertes Ergebnis sprühende Funken wie bei einem Kometenschweif zu erhalten. Geovisualisierungen nutzen die Morphing-Technik um temporale Veränderungen wie z.B. einen Gletscher-rückgang oder Verschiebung der Plattentektonik darstellen zu können. Der Einsatz von Umgebungseffekte wie z.B. Nebel verleiht einer Szene mehr

Atmosphäre. Zusätzlich wurde ein spezielles Plug-In für CINEMA 4D vorgestellt, in dem Objekte in seine Einzelteile zerlegt werden können. Dieser Spezialeffekt kann in Geovisualisierungen bei Erdbebensimulationen angewendet werden. Abschließend wurden drei 3D-Geovisualisierungen aus verschiedenen Bereichen gezeigt, in denen diese Techniken und Effekte angewendet wurden.

Das praktische Ziel im zweiten Teil dieser Arbeit war es, mit Hilfe der 3D-Software CINEMA 4D einige Spezialeffekte Schritt für Schritt „nachzubauen“, um so einen Einblick verschaffen zu können, welche Methoden zur Erstellung angewendet werden und welche Möglichkeiten für die Erschaffung von Spezialeffekten vorhanden sind. Als Ergebnisse sollten Screenshots der von mir erzeugten Spezialeffekte dienen bzw. sollten auch einige wesentliche Zwischenschritte dokumentiert werden. Wie bereits im Vorwort erwähnt, wurde von mir zum Erreichen dieser Ergebnisse die Software CINEMA 4D der Firma MAXON gewählt, weil mir diese Software im Laufe des Studiums angelehrt wurde und ich somit im Umgang vertraut war. Hilfe für die diversen – teils aufwendigen – Arbeitsschritte fand ich in CINEMA 4D-Handbücher, Video- und Onlinetutorials sowie verschiedenste Onlineforen zum Thema 3D-Visualisierungen.

Zusammenfassend wurden in dieser Arbeit die grundlegenden theoretischen Begrifflichkeiten aus dem Bereich der Geovisualisierung und Spezialeffekte erläutert. Der praktische Teil erklärte die Methoden und Anwendungsmöglichkeiten von Spezialeffekten in 3D-Geovisualisierungen. Es zeigt sich, dass der Einsatz von digitalen Spezialeffekten für Visualisierungen Sinn macht, um somit dem Betrachter bessere und nachvollziehbarere Ergebnisse präsentieren zu können. Dass der Einsatz der 3D-Technik für Geovisualisierungen sich auch in Zukunft immer mehr Beliebtheit erfreuen wird, zeigt der Umstand, dass es schon heutzutage eine reiche Palette an Anwendungsmöglichkeiten in diesem Bereich gibt.

6 LITERATUR

- [ASC-88] ASCHE, Hartmut: *Das digitale kartographische System an der Universität Wien*. In: Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Band 1, 1988, S. 198-205.
- [BEZ-96] BEZEL, Murat, KOBZAN, Michael: *3D-Rendering und Animation*. Haar bei München, Markt&Technik Buch- und Software-Verlag, 1996, 823 S.
- [BIL-10] BILL, Ralf: *Grundlagen der Geo-Informationssysteme*. Berlin, Wichmann-Verlag, 2010, 804 S.
- [BRU-94] BRUGGER, Ralf: *3D-Computergrafik und –animation*. Bonn – Paris – Reading, Mass., Addison-Wesley, 1994, 524 S.
- [BRU-10] BRUHM, Katharina, BUCHROITHNER, Manfred, HETZE, Bernd: *True-3D Visualization of Glacier Retreat in the Dachstein Massif, Austria*. In: Developments in 3D Geo-Information Sciences, Springer, Berlin – Heidelberg, 2010, S. 17-32.
- [CAS-10] CASTRILLON, M., JORGE, P.A., LOPEZ, I.J., MACIAS A., MARTIN, D., NEBOT, R.J., SABBAGH, I., QUINTANA, F.M., SANCHEZ, J., SANCHEZ, A.J., SUAREZ, J.P., TRUJILLO, A.: *Forecasting and visualization of wildfires in a 3D geographical information system*. In: Computers & Geosciences, Vol. 37, 2011, S. 390-396.
- [COO-05] COORS, Volker: *3D-Geoinformationssysteme: Grundlagen und Anwendungen*. Heidelberg, Wichmann, 2005, 522 S.
- [CRA-02] CRAMPTON, Jeremy W.: *Interactivity Types in Geographic Visualization*. In: Cartography and Geographic Information Science, Vol. 29, No. 2, 2002, S. 85-98.
- [DIC-07] DICKMANN, Frank [Hrsg.]: *Geovisualisierung in der Humangeographie*. Bonn, Kirschbaum-Verlag, 2007, 195 S.

- [DÖL-03] DÖLLNER, Jürgen, WALTHER, Maik: *Real-Time Expressive Rendering*. In: Seventh International Conference on Information Visualisation, 2003, S. 245-250.
- [DRA-97] DRANSCH, Doris: *Computer-Animation in der Kartographie*. Berlin – Heidelberg, Springer, 1997, 141 S.
- [EAC-97] MacEACHREN, Alan M., KRAAK, Menno-Jan: *Exploratory Cartographic Visualization: Advancing The Agenda*. In: Computer & Geosciences, Vol. 23, No. 4, 1997, S. 335-343.
- [EAC-01] MacEACHREN, Alan M., KRAAK, Menno-Jan: *Research challenges in geovisualization*. In: Cartography and Geographic Information Science, Vol. 28, No.1, 2001, S. 3-12.
- [ECK-07] ECKARDT, Maik: *Cinema 4D R10*. Heidelberg, mitp, 2007, 384 S.
- [FLÜ-08] FLÜCKIGER, Barbara: *Visual Effects. Filmbilder aus dem Computer*. Marburg, Schüren Verlag, 2008, 528 S.
- [GEI-99] GEIGER, Christian: *Schneller Entwurf interaktiver dreidimensionaler Computeranimation*. Paderborn, Shaker, 1999, 392 S.
- [GIE-00] GIESEN, Rolf, MEGLIN, Claudia: *Künstliche Welten. Tricks, Special Effects und Computeranimation im Film von den Anfängen bis heute*. Hamburg – Wien, Europa-Verlag, 2000, 237 S.
- [GIE-01] GIESEN, Rolf: *Lexikon der Special Effects*. Berlin, Lexikon Imprint Verlag, 2001, 379 S.
- [HAK-94] HAKE, Günter, GRÜNREICH, Dietmar: *Kartographie*. Berlin – New York, De Gruyter, 1994, 599 S.
- [HAL-03] HALL, Myrna H.P., FAGRE, Daniel B.: *Modeled Climate-Induced Glacier Change in Glacier National Park, 1850-2100*. In: BioScience, Vol. 53, No.2, 2003, S. 131-140.
- [HEA-97] HEARN, Donald, BAKER, M. Pauline: *Computer Graphics*. Upper Saddle River, Prentice Hall, 1997, 652 S.

- [HIL-05] HILBRING, Désirée: *3D-GIS Visualisierung in der Umweltinformatik*. Karlsruhe, Universitätsverlag, 2005, 217 S.
- [JAC-06] JACKÈL, Dietmar, NEUNREITHER, Stephan, WAGNER, Friedrich: *Methoden der Computeranimation*. Berlin – Heidelberg, Springer, 2006, 374 S.
- [KAT-07] KATTERFELD, Christiane, PAELKE, Volker, SESTER, Monika: *Education and E-Learning with Virtual Landscapes*. In: *Multimedia Cartography*, Springer, 2007, 546 S.
- [KLA-12] KLAWONN, Frank: *Introduction to Computer Graphics. Using Java 2D and 3D*. London, Springer, 2012, 253 S.
- [KOE-00] KOENIGSMARCK, Arndt von: *3D Character Design. Character Modeling & Animation*. Bonn, Galileo Press, 2000, 245 S.
- [KOE-08] KOENIGSMARCK, Arndt von: *Cinema 4D Release 11. Grundlagen und Workshops für Profis*. München, Addison-Wesley, 2008, 584 S.
- [KOH-04] KOHLSTOCK, Peter: *Kartographie. Eine Einführung*. Paderborn, UTB, 2004, 227 S.
- [KRA-07] KRAAK, Menno-Jan: *Cartography and the use of animation*. In: *Multimedia Cartography*, Springer, 2007, 546 S.
- [KWA-03] KWAN, Mei-Po, LEE, Jiyeong: *Geovisualization of Human Activity Patterns Using 3D GIS: A Time-Geographic Approach*. In: *Spatially Integrated Social Science: Examples in Best Practice*, Chapter 3. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- [MAC-00] MACH, Rüdiger: *3D-Visualisierung: optimale Ergebnispräsentation mit AutoCAD und 3D Studio MAX*. Bonn, Galileo Press, 2000, 285 S.
- [MAC-06] MACH, Rüdiger, PETSCHKE, Peter: *Visualisierung digitaler Gelände- und Landschaftsdaten*. Berlin - Heidelberg, Springer, 2006, 363 S.
- [MEG-00] MEGLIN, Claudia: *Aufbruch ins digitale Zeitalter. Eine Geschichte der Computeranimation*. In: *Künstliche Welten. Tricks, Special Effects und*

Computeranimation im Film von den Anfängen bis heute. Hamburg – Wien, Europa-Verlag, 2000, 237 S.

[MUL-02] MULACK, Thomas, GIESEN, Rolf: *Special Visual Effects. Planung und Produktion*. Gerlingen, UVK, 2002, 142 S.

[NG-00] NG, Kian Bee: *Special Effects mit Maya*. Bonn, MITP-Verlag, 2000, 390 S.

[SCH-00] SCHUMANN, Heidrun, MÜLLER, Wolfgang: *Visualisierung. Grundlagen und allgemeine Methoden*. Berlin – Heidelberg, Springer, 2000, 370 S.

[SLA-04] SLANSKY, Peter C.: *Digitaler Film – digitales Kino*. Konstanz, UVK, 2004, 400 S.

[VIN-00] VINCE, John: *Essential Computer Animation fast. How to Understand the Techniques and Potential of Computer Animation*. London, Springer-Verlag, 2000, 160 S.

[WAR-10] WARD, Matthew, GRINSTEIN, Georges, KEIM, Daniel: *Interactive Data Visualization. Foundations, Techniques, and Applications*. Natick, Massachusetts, A K Peters, 2010, 496 S.

[WAR-07] WARTMANN, Carsten: *Das Blender-Buch. 3D-Grafik und Animation mit freier Software*. Heidelberg, dpunkt.verlag, 2007, 371 S.

[WHI-08] WHITE, Tony: *Digitale Animation. Vom Bleistift zum Pixel*. Berlin - Heidelberg, Springer, 2008, 506 S.

[WOO-05] WOOD, Jo, KIRSCHENBAUER, Sabine, DÖLLNER, Jürgen, LOPES, Adriano, BODUM, Lars: *Using 3D in Visualization*. In: *Exploring Geovisualization*, Elsevier, 2005, S. 293-312.

7 INTERNETQUELLEN

[AUT-12] AUTODESK

<http://www.autodesk.de/adsk/servlet/pc/index?id=14642267&siteID=403786>

Letzter Zugriff: 06.02.2012

[BRO-12a] BROCKHAUS Enzyklopädie Online

http://www.brockhaus-encyklopaedie.de/be21_article.php

Letzter Zugriff: 08.08.2012

[BRO-12b] BROCKHAUS Enzyklopädie Online

http://www.brockhaus-encyklopaedie.de/be21_article.php?document_id=b24_4029311

Letzter Zugriff: 09.08.2012

[CIN-11] CINEMA 4D Handbuch

[ERD-12] ERDAS

<http://www.erdas.com/products/erdasimagine/IMAGINEVirtualGIS>

Letzter Zugriff: 06.02.2012

[ESR-12] ESRI

<http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/3danalyst/index.html>

Letzter Zugriff: 06.02.2012

[GEO-11a] GEOINFORMATION.NET

http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/3D_geovisualisierung/NeueMedien1_06.htm

Letzter Zugriff: 12.11.2011

[GEO-11b] GEOINFORMATION.NET

http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/3D_geovisualisierung/NeueMedien1_04.htm

Letzter Zugriff: 12.11.2011

[GEO-12a] GEOINFORMATION.NET

http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/3D_geovisualisierung/NeueMedien5_3.htm

Letzter Zugriff: 14.02.2012

[GEO-12b] GEOINFORMATION.NET

http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/3D_geovisualisierung/NeueMedien5_4.htm

Letzter Zugriff: 14.02.2012

[GEO-12c] GEOINFORMATION.NET

http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/3D_geovisualisierung/NeueMedien5_5.htm

Letzter Zugriff: 14.02.2012

[GEO-12d] GEOINFORMATION.NET

http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/3D_geovisualisierung/NeueMedien5_6.htm

Letzter Zugriff: 14.02.2012

[MAX-12] MAXON

<http://www.maxon.net/de/home.html>

Letzter Zugriff: 08.02.2012

[RIE-11] RIEDL, Andreas: MULTIMEDIATECHNOLOGIE UND GEO-KOMMUNIKATION – Skript für das Studienjahr 2011/12 – Universität Wien

http://www.univie.ac.at/karto/lehre/multimed/mmgk1112/tutorials/theorie/mmgk10_skript.pdf

Letzter Zugriff: 16.07.2012

[WIK-12a] WIKIPEDIA

http://de.wikipedia.org/wiki/Cinema_4D

Letzter Zugriff: 08.02.2012

[WIK-12b] WIKIPEDIA

[http://de.wikipedia.org/wiki/Maya_\(Software\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Maya_(Software))

Letzter Zugriff: 08.02.2012

LEBENS LAUF

Thomas Huber

E-Mail: tom-huber@hotmail.com

Persönliche Angaben

Geburtsdatum: 05.03.1986
 Geburtsort: Waidhofen an der Ybbs
 Nationalität: Österreich

Bildungsweg

11|2012 Studienende
 3|2009 Beginn Studienzweig **Kartographie & Geoinformation**
 3|2008 Beginn 2. Studienabschnitt, Studienzweig „Theoretische & Angewandte Geographie“ – Schwerpunkt **Regionalentwicklung**
 10|2005 Studienbeginn Geographie Diplom an der **Universität Wien**
 10|1996 – 6|2004 **Bundesrealgymnasium** Waidhofen an der Ybbs

Berufserfahrung

seit 03|2010 **Freytag & Berndt und Artaria KG**
 Freier Mitarbeiter als Kartograph in der Abteilung für Freizeitkarten
 7|2011 – 12|2011 **Integral Markt- und Meinungsforschungs GmbH**
 Interviewer für diverse Umfragen
 10|2007 – 12|2009 **Österreichischer Kommunal-Verlag GmbH**
 Freier Mitarbeiter in der Abteilung für Verkehrssicherheit in Gemeinden
 08|2007 – 08|2012 **Diverse Ferial- und Nebenjobs**
 Kommisioniertätigkeit bei Firma Müller Ltd. & Co. KG,
 Produktionsmitarbeiter bei Palmers Textil AG,
 Helfer bei Veranstaltungen & Messen der Universität Wien, u.a.

Auslandsreisen

07|2009 USA-Aufenthalt mit der Universität Wien, Teilnahme an der ESRI International User Conference 2009.

Ich versichere:

- dass ich die Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Datum

Unterschrift