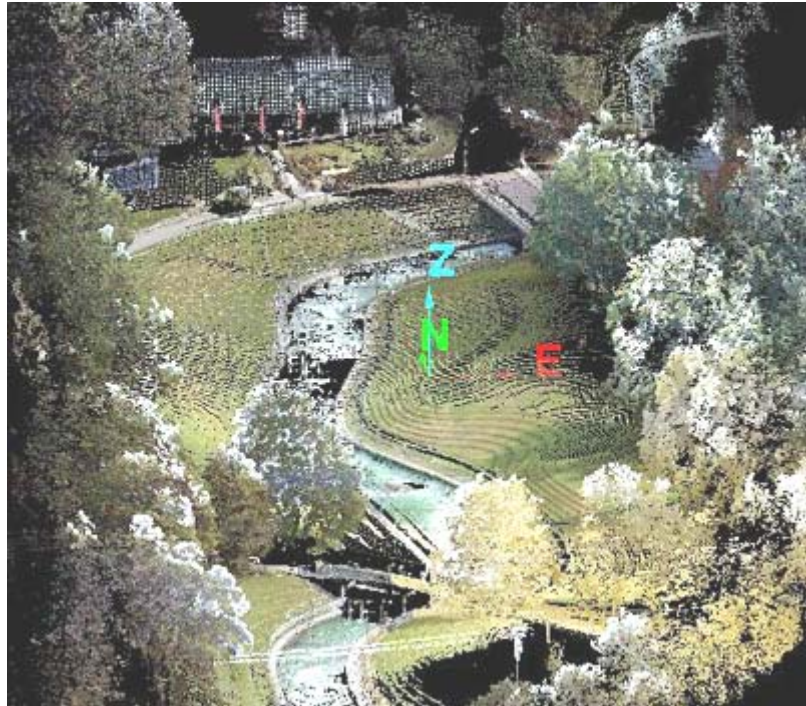


**Interaktive und webbasierte
3D-Geovisualisierung
aus terrestrischen Laserscanner-Daten**



Master Thesis

von Gerd Lehmann

Universität Salzburg

Institut für Geographie und Angewandte Geoinformatik

Studiengang:

Geographical Information Science and Systems

UNIGIS MSc 2002, U967

Betreuer:

Ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Josef Strobl

Dipl.-Ing. Moritz Ostenrieder

Dezember 2003

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Master Thesis selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe sowie alle von mir verwendeten Zitate als solche gekennzeichnet wurden. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Gerd Lehmann

Augsburg, im Dezember 2003

Abstract

Three dimensional geographic visualizations are not only fascinating but also much more understandable than a traditional map. Two dimensional visualizations have to abstract for presenting three dimensions. Any interpretation therefore will be subjective. On the contrary, three dimensional visualizations are intuitive because it presents the reality exactly like people experience it every day. This work shows how a defined section of the three dimensional space can be digitally seized, worked on and presented by different methods and technologies. The main aspect of seizing is the techniques of terrestrial laser scanning. This is a quickly usable method of seizing a three dimensional space section within a few minutes. Data are at once digitally available. Seize of the space section is limited to a few hundred hectares surface. The direct work on the created Point cloud happens instantly for example with the software I-SiTE Studio. The further modeling and visualization of the three dimensional geo data takes place in another software. The convenient products of GIS and landscape modeling are not suitable to large-scale areas. It has been tested in many ways by industries for movies and computer games, products visualization and character animation. A great disadvantage is the required extensive work into this application. Second main aspect of the work is presenting the visualization without additional software and transferring data via Internet. For this first of all techniques of reducing the data volume are needed. The data need to be transformed to an interoperable format so they are transferable. Therefore offers the XML-Format with its dialects X3D and SVG. 3D-Visualization is actually attractive if the user can interact according to his individual wishes. It is not possible to value the economic aspect of the procedure generally; this depends a lot on the demands to the visualization. Nevertheless exist much suitability and the method becomes more attractive while technical possibilities increase.

Zusammenfassung

Dreidimensionale Geovisualisierungen sind nicht nur faszinierend sondern auch verständlicher als eine klassische Karte. Zweidimensionale Visualisierungen abstrahieren, um Dreidimensionales darzustellen. Eine Interpretation ist dann subjektiv. Dreidimensionale Visualisierungen sind dagegen intuitiv, weil sie die Realität genau so abbilden, wie sie der Mensch alltäglich erlebt. Diese Arbeit zeigt auf, wie ein festgelegter dreidimensionaler Raumausschnitt mit unterschiedlichen Methoden und Technologien digital erfasst, bearbeitet und dargestellt werden kann. Das Hauptaugenmerk bei der Erfassung liegt in der Technik des terrestrischen Laserscannings. Das ist eine schnell einsetzbare Methode, um einen dreidimensionalen Raumausschnitt in wenigen Minuten vollständig zu erfassen, wobei die Daten sofort digital verfügbar sind. Die Größe des Raumausschnitts ist, technisch bedingt, auf einige Hundert Hektar Fläche beschränkt. Die direkte Nachbearbeitung der erzeugten Punktwolke erfolgt sofort z.B. mit der Software I-SiTE Studio. Die weitere Modellierung und Visualisierung der dreidimensionalen Geodaten entsteht in einer anderen Software. Die klassischen GIS- und Landschaftsmodellierungsprodukte sind für einen großmaßstäblichen Bereich nicht geeignet. Die professionelle 3D-Software 3ds max ist dagegen ein ideales Tool für diesen Maßstabsbereich. Vielfach bewährt hat sie sich z.B. in der Film- und Computerspiele-Industrie, der Produktvisualisierung oder Charakteranimation. Nachteilig erweist sich aber die umfangreiche Einarbeitung in diese Anwendung. Zweiter Schwerpunkt der Arbeit ist die Darstellung der Visualisierungen möglichst ohne zusätzliche Software und die Übertragung der Daten via Internet. Dazu müssen vorab Techniken zur Reduzierung des Datenvolumens angewandt werden. Die Daten selbst sollen in ein interoperables Format gebracht werden, um sie austauschbar zu machen. Dafür bietet sich das XML-Format mit seinen Dialekten X3D und SVG an. 3D-Visualisierungen sind aber nur dann wirklich attraktiv, wenn der Nutzer mit ihnen nach seinen individuellen Wünschen interaktiv umgehen kann. Eine Aussage über die generelle Wirtschaftlichkeit der Vorgehensweise kann nicht getroffen werden; diese hängt stark von den Anforderungen an die Visualisierung ab. Gleichwohl existieren vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, die mit Fortschreiten der technischen Möglichkeiten die Vorgehensweise attraktiver macht.

Danke an

- Josef Strobl für die fachliche Betreuung.
- Moritz Ostenrieder vom Ingenieurbüro Ostenrieder in Grünwald bei München für die ständige Unterstützung in der Thematik des terrestrischen Laserscannings und die Erstellung der Daten mit dem Laserscanner vor Ort.
- die Firma I-SiTE Ltd. für die kostenlose Demo-Lizenz der Software I-Site Studio 2.1.
- das Stadtvermessungsamt Augsburg für das kostenlose zur Verfügungstellen eines Ausschnitts der digitalen Stadtgrundkarte und das Einmessen der Registrierungs-punkte beim Erfassen des Eiskanalgeländes mit dem Laserscanner.
- meine Eltern Gudrun und Wolfgang!

Hinweise zum Lesen dieser Arbeit

Dieser Arbeit liegt eine CD-ROM mit der digitalen Version dieser Arbeit im HTML- und PDF-Format bei. Die HTML-Version ist leicht verändert. Mit dem Aufruf der Datei „index.html“ öffnet sich ein Menü, von dem aus durch den kompletten Inhalt der CD-ROM navigiert werden kann. Der Inhalt der CD-ROM ist auch unter <http://www.3dgeovis.de> verfügbar. Ressourcen (Daten/Modelle, Software, Dokumente) auf der CD-ROM sind im Text rechtsbündig und in oranger Farbe gekennzeichnet und weisen auf den Navigationspfad hin. Beispiel:

[Menu | Daten/Modelle](#)

Zur Darstellung einiger Visualisierungen ist diverse zusätzliche Software erforderlich, die mit jeweils einer kurzen Installationsanleitung auf der CD-ROM unter dem Menüpunkt „Software“ zu finden sind.

Für einige Modelle werden an den Computer des Betrachters eine gewisse Mindestleistung (empfohlen wird ein PC mit mind. 500MHz Prozessor, 128 MB RAM Arbeitsspeicher und einer 64 MB RAM Grafikkarte) gefordert.

Zitate sind im Text durch Autor, Erscheinungsjahr und Seitenzahl in eckigen Klammern gekennzeichnet (z.B. [SUTER 1997, 1]).

Internetressourcen sind durch die URL angegeben und mit dem Datum versehen, an dem diese funktionsfähig war.

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	ii	
Abstract	iii	
Zusammenfassung	iv	
Danke an	v	
Hinweise zum Lesen dieser Arbeit.....	v	
Inhaltsverzeichnis	vi	
Abbildungsverzeichnis	xii	
1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Technische Gegebenheiten.....	5
1.3	Räumliche Gegebenheiten.....	6
2	Konzeption	8
2.1	Problematik	8
2.2	Thesen	10
2.3	Aufgabenstellung	11
2.4	Methodik	12
3	Grundlagen	13
3.1	Wahrnehmung des Menschen	13
3.2	Realität und Virtualität	14
3.3	Geovisualisierung.....	15
3.4	Interaktivität	16

3.5	Kartografische Umsetzung.....	17
4	Datenerfassung	18
4.1	Datenerfassung mit einem terrestrischen Laserscanner.....	19
4.1.1	I-SiTE System.....	20
4.1.2	Praktische Durchführung einer Erfassung.....	26
4.1.3	Möglichkeiten von I-SiTE Studio	29
4.1.4	Andere Systeme	30
4.1.5	Alternativen.....	31
4.1.5.1	Photogrammetrie.....	31
4.1.5.2	Airborne Laserscanning	31
4.1.5.3	Geodätische Messungen.....	31
4.1.5.4	Nahbereichsphotogrammetrie	32
4.1.5.5	Bestehende Daten.....	32
4.1.5.6	Generierung aus 2D-Daten.....	32
4.1.5.7	GPS-Daten	33
4.1.5.8	Skizzen.....	33
4.2	Erfassungsobjekte.....	33
4.2.1	Geländeoberfläche.....	34
4.2.2	Vegetation	34
4.2.3	Wasser.....	35
4.2.4	Infrastruktur.....	36
4.2.5	Lebewesen.....	36
4.2.6	Atmosphäre	36
4.2.7	Virtuelle Objekte.....	36
4.2.8	Synthese	37
4.3	Daten	37
4.3.1	Datei-basierte Speicherung	38
4.3.1.1	Proprietäre Formate.....	38
4.3.1.2	Offene Standards.....	38
4.3.1.2.1	World Wide Web Consortium	39
4.3.1.2.2	Web3D Consortium und X3D Graphics Working Group	39
4.3.1.2.3	Open GIS Consortium.....	40
4.3.1.2.4	American standard code for information interchange	40
4.3.1.2.5	Virtual Reality Markup Language.....	40
4.3.1.2.6	Extensible Markup Language	41
4.3.1.2.7	Extensible Stylesheet Language for Transformations.....	42
4.3.2	Datenbank-basierte Speicherung.....	42

4.4	Datenreduktion	43
4.4.1	Mit I-SiTE Studio	43
4.4.2	Adaptive Datenverarbeitung	44
4.4.3	Abstraktionsgrad	44
4.4.4	Reduktion in VRML	45
4.4.5	GeoVRML	45
4.4.6	Low-Polygon-Modeling	45
5	Visualisierung	47
5.1	Techniken	47
5.1.1	Arten der 3D-Modelle	47
5.1.2	Geländeoberflächen	48
5.1.3	Texturen	49
5.1.3.1	Texture-Map	50
5.1.3.2	Bump-Map (Relief-Map)	50
5.1.3.3	Displacement-Map	50
5.1.3.4	Environment-Map	50
5.1.3.5	Kachel-Map	51
5.1.3.6	Multichannel-Texturing	51
5.1.4	Licht und Schatten	51
5.1.5	Partikelsysteme	51
5.1.6	Wasseroberflächen	52
5.1.7	Vegetation	52
5.1.7.1	2D Zeichnungen, Symbole, 2D Prozeduren	53
5.1.7.2	3D-Silhouette/Billboard	53
5.1.7.3	Volumen-/Vektormodelle	54
5.1.7.4	Procedural Models	55
5.1.8	Computer Aided Design	55
5.1.9	Animation	56
5.2	Software und Tools zur Bearbeitung	56
5.2.1	Panoramen	56
5.2.2	Computerspiele	57
5.2.3	Professionelle 3D-Software	57
5.2.3.1	Viewpoint	57
5.2.3.2	Cult3D	58
5.2.3.3	Discreet 3ds max	59
5.2.3.4	Macromedia Director 8.5	60
5.2.4	Landschaftsmodellierer	61

5.2.4.1	3D Nature World Construction Set	61
5.2.4.2	Lenné 3D.....	61
5.2.5	GIS-Software.....	62
5.2.5.1	ESRI ArcView+3D Analyst.....	63
5.2.5.2	Map2SVG	64
5.2.6	CAD-Software.....	65
5.2.6.1	Autodesk Map	65
5.2.6.2	@Last Software SketchUp.....	65
5.2.6.3	AutoTerrain	66
5.2.7	ViSC-Software	66
5.2.8	Java3D.....	67
5.2.9	Editoren.....	67
5.2.9.1	Parallel Graphics VRMLPad.....	67
5.2.9.2	Web3D X3D-Edit.....	67
5.2.10	Autorenumgebungen	68
5.2.10.1	Parallel Graphics Internet Space Builder	68
5.2.10.2	Macromedia Dreamweaver und X3D-Weaver	68
5.2.10.3	Vizx3D	69
5.2.10.4	Adobe Illustrator und Corel Draw	69
5.2.11	Konverter	69
5.2.11.1	VRML-Konverter.....	69
5.2.11.2	NIST Vrml97ToX3d	69
5.3	Darstellungssoftware.....	70
5.3.1	Internet-Browser	70
5.3.1.1	Blaxxun X3D-Browser.....	70
5.3.1.2	Shout3D-Browser.....	70
5.3.1.3	OpenWorlds Horizon Browsers	70
5.3.1.4	Cortona VRML Client.....	71
5.3.1.5	Viewer.....	71
5.4	Überblick zu Software und Datenformaten.....	71
6	Praktische Umsetzung.....	74
6.1	Ausgangssituation	74
6.2	Digitales Oberflächen Modell	75
6.2.1	Separierung der Geoobjekte.....	76
6.2.2	Reduzierung der Punktedichte.....	77
6.2.3	Triangulierung.....	79

6.2.4	Extraktion von Gemometriedaten	80
6.3	Translation der georeferenzierten Daten	81
6.4	Export aus I-SiTE Studio	82
6.5	Datenvolumen	83
6.6	Modifizierte Stadtgrundkarte von Augsburg.....	84
6.7	Visualisierung mit 3ds max 5	84
6.7.1	DGM-Erstellung in 3ds max	85
6.7.2	Texturierung der Geländeoberfläche mit Luftbild.....	86
6.7.3	Bäume als Billboards	87
6.7.4	Infrastruktur aus Polygonzügen.....	87
6.7.5	Setzen von Lichtquellen	88
6.7.6	Reduzierung des Datenvolumens	88
6.7.7	Export eines fertigen Modells	88
6.7.8	Stadtgrundkarte und DGM	88
6.8	Ergebnis.....	89
6.9	Datenfluss.....	90
7	Kosten	93
7.1	Datenerfassung mit einem terrestrischen Laserscanner.....	93
7.2	Software zur Visualisierung	93
7.3	Vergleich mit anderen Methoden	94
8	Anwendungsgebiete und Nutzer	95
8.1	Kartografie	95
8.2	Planung.....	95
8.3	Geodatenbanken	96
8.4	Geomarketing.....	96
8.5	Infotainment	97

8.6	Unfallszenarien	98
8.7	Restauration, Archäologie und Denkmalpflege.....	98
9	Resultate	99
9.1	Erfassung.....	99
9.2	Nachbearbeitung	100
9.3	Visualisierung	100
9.4	Thesen	103
9.5	Ausblick	103
	Literaturverzeichnis.....	xv
	Abkürzungsverzeichnis	xviii

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: 3D-Karte von Prof. H.C. Berann [http://www.berann.com , 5.11.2003].....	1
Abbildung 2: Beispiel für eine Architekturvisualisierung.....	2
Abbildung 3: 3D Wohnungsplaner [Data Becker, http://www.databecker.de , 14.09.2003].....	3
Abbildung 4: Virtuelles Model bei Versandhaus Neckermann AG [Neckermann AG, http://www.neckermann.de , 14.09.2003].....	3
Abbildung 5: Maßstabsbereich dieser Arbeit.....	4
Abbildung 6: Downloadzeit in Abhängigkeit vom Datenvolumen bei einem 56k-Modem.....	5
Abbildung 7: Eiskanal in Augsburg.....	7
Abbildung 8: schematische Vorgehensweise.....	12
Abbildung 9: Teilbereiche der Geovisualisierung.....	16
Abbildung 10: Schema zur Erstellung eines digitalen Modells.....	18
Abbildung 11: Laserscanner Riegls LMS Z210 auf Stativ mit Laptop [http://www.ostenrieder.de , 20.11.2003].....	20
Abbildung 12: Technische Details des Laserscanners Riegls LMS Z210 [OSTENRIEDER 2003-4, 2].....	21
Abbildung 13: Handwagen und Koffer zum Transport von Scanner, Stativ und Laptop.....	22
Abbildung 14: Anwendungsmöglichkeiten der I-SiTE Software [OSTENRIEDER 2003-2, 1].....	22
Abbildung 15: Vertikale Ablenkung des Laserstrahls mittels rotierenden Spiegels [http://www.ostenrieder.de , 20.11.2003 2003].....	23
Abbildung 16: Umwandlung des Laserstrahlsignals in Daten [http://www.ostenrieder.de , 20.11.2003 2003].....	24
Abbildung 17: Informationen zu den erfassten Punktwolken.....	25
Abbildung 18: mittlerer räumlicher Punktfehler in Abhängigkeit von der Entfernung [BUHROW 2002].....	26
Abbildung 19: zusammenhängende georeferenzierte Punktwolke aus Einzelscans (repräsentiert durch Farben).....	28
Abbildung 20: Ansicht auf die gesamte Punktwolke mit Punkten in Echtfarben in I-SiTE Studio.....	29
Abbildung 21: Oberfläche von I-SiTE Studio 2.1.....	29
Abbildung 22: Punktwolke eines einzelnen Baums.....	35
Abbildung 23: TIN der Geländeoberfläche des Fallbeispiels mit farbigen Höhenstufen in I-SiTE Studio.....	49
Abbildung 24: Grundlage für Billboard [ERVIN 2001, 128].....	53
Abbildung 25: Silhouette für Billboard [ERVIN 2001, 128].....	53
Abbildung 26: Silhouette mit Textur [ERVIN 2001, 128].....	53
Abbildung 27: mehrere Billboards [ERVIN 2001, 128].....	54
Abbildung 28: Bäume aus geometrischen Primitiven [ERVIN 2001, 120].....	54
Abbildung 29: Bäume aus geometrischen Primitiven [SCHAUPPENLEHNER 2002, 40].....	55
Abbildung 30: VRML Bearbeitungsmöglichkeiten in 3ds max.....	60
Abbildung 31: In ArcView generiertes TIN aus Laserscandaten.....	63
Abbildung 32: Geschlossene Geländeoberfläche in ArcView.....	64
Abbildung 33: Anwendungen zur Bearbeitung und Modellierung von Laserscanner-Daten.....	72
Abbildung 34: Überblick zu Datenformaten zur Visualisierung.....	73

Abbildung 35: Gesamte Punktwolke aus der Vogelperspektive.....	74
Abbildung 36: Triangulation einer unstrukturierten Punktwolke	75
Abbildung 37: Triangulation der Rohdaten in I-SiTE Studio.....	76
Abbildung 38: Separierung der Geobjekte in I-SiTE Studio 2.1	77
Abbildung 39: Reduzierung der Geländeoberfläche mit dem Topography-Filter 2m.....	78
Abbildung 40: Triangulation in I-SiTE Studio 2.1 (Höhen durch Farben).....	79
Abbildung 41: Triangulierung zu einer geschlossenen Geländeoberfläche in I-SiTE Studio 2.1	80
Abbildung 42: Bestimmung des Standorts von Bäumen mit Kreisobjekten	81
Abbildung 43: Translation georeferenzierter Daten in I-SiTE Studio.....	82
Abbildung 44: Koordinaten einer georeferenzierten Punktwolke.....	83
Abbildung 45: Datenvolumen von Dateien nach dem Export aus I-SiTE Studio.....	83
Abbildung 46: modifizierter Ausschnitt der digitalen Stadtgrundkarte von Augsburg	84
Abbildung 47: Plugin Terrain2.....	85
Abbildung 48: Mit Terrain2 importierte Punktwolke (Fotomontage, TIN/Oberfläche)	86
Abbildung 49: Unstimmigkeiten bei Synthese der Daten	87
Abbildung 50: Modifizierte Stadtgrundkarte und importierte Geländeoberfläche	89
Abbildung 51: Gängiger Datenfluss bei der Erstellung einer 3D-Visualisierung aus Geodaten [MACH 2003-2, 113] (modifiziert)	91
Abbildung 52: Datenfluss im Fallbeispiel	92
Abbildung 53: Kostenvergleich der Software zur Bearbeitung von Modellen.....	94
Abbildung 54: Geschätzter Aufwand und Kosten im Fallbeispiel	94
Abbildung 55: Gratwanderung zwischen Abstraktion und Realitätsnähe	102

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die Darstellung von Geodaten in visueller, bildhafter Form, besitzt eine erhebliche Bedeutung für die Analyse, Exploration, Synthese und Präsentation von räumlichen, thematischen und ggf. zeitlichen Zusammenhängen.

Während die „klassische“ Karte eine orthogonale Abbildung eines Teiles der Erdoberfläche ist und weitgehend von konstanten Maßen sowie abstrakter Kartengraphik bestimmt wird, ist die Vogelschau eine zentralperspektivische Abbildung auf eine horizontale oder schräge Ebene. Die Wirkung ist naturalistisch und kann sogar fotografische Qualität erreichen. Die „Kunstkarten“ von Prof. Berann waren manuell angefertigt, jede war sozusagen ein Unikat.



Abbildung 1: 3D-Karte von Prof. H.C. Berann [<http://www.berann.com>, 5.11.2003]

Von vielen Anbietern erhält man heute ähnliche Landschaftsdarstellungen, weil sie in einer zugänglichen und jedem Laien verständlichen Form die notwendigste Information vermitteln können. Und immer noch werden derartige Produkte vorwiegend manuell angefertigt. Interessant ist, solche 3D-Kartenprodukte computergestützt zu generieren [BUCHROITHNER 2002, 1].

In unserem Alltag ist die zweidimensionale Abbildung der Realität (z.B. Karte, Bild, Foto, Plan, Zeichnung) die Regel. „Der Mensch als dreidimensionales Wesen lebt und handelt in einer dreidimensionalen Welt“ [SCHAUPPENLEHNER 2001, 1]. Somit erfordert die Vermittlung komplexer Sachverhalte, die in reinen zweidimensionalen Informationen nur schwer zu kommunizieren sind, neue Arten der Aufbereitung – zumal es nicht jeder Betrachter gewohnt ist, aus zweidimensionalen Informationen Dreidimensionales zu abstrahieren und zu verstehen [MACH 2003-2, 110]. Die reale dreidimensionale Abbildung ist zwar nichts Ungewöhnliches (z.B. Spielzeugauto, Globus), aber in der Erstellung schon wesentlich schwerer.

Der Vorteil digitaler Modelle im Gegensatz zu realen physischen Modellen liegt nicht nur in der zum Teil einfacheren Erstellung, sondern vor allem in der vielfältigen Widerverwendbarkeit ganzer Modelle oder Teilen davon. Es können z.B. auf Basis eines Modells durch Änderungen sehr schnell Alternativen entwickelt werden. Zudem bieten einige digitale Modelle die Möglichkeit der Interaktion mit dem Nutzer. Weiterhin können durch Einbeziehung der vierten Dimension, der Zeit, Animationen oder Filme erzeugt werden, sodass der Informationsgehalt einer Abbildung stark erhöht werden kann. Folgende Beispiele zeigen digitale Modelle, die heute bereits tagtäglich verwendet werden.

In der Architektur, werden in großer Zahl dreidimensionale Computersimulationen von Bauwerken und deren unmittelbare Umgebung erstellt.



Abbildung 2: Beispiel für eine Architekturvisualisierung

Für €15,95 bietet die Firma Data Becker die Software „3D Wohnungs Planer“ zum Entwerfen eines 3D Modells auch für den Laien an.

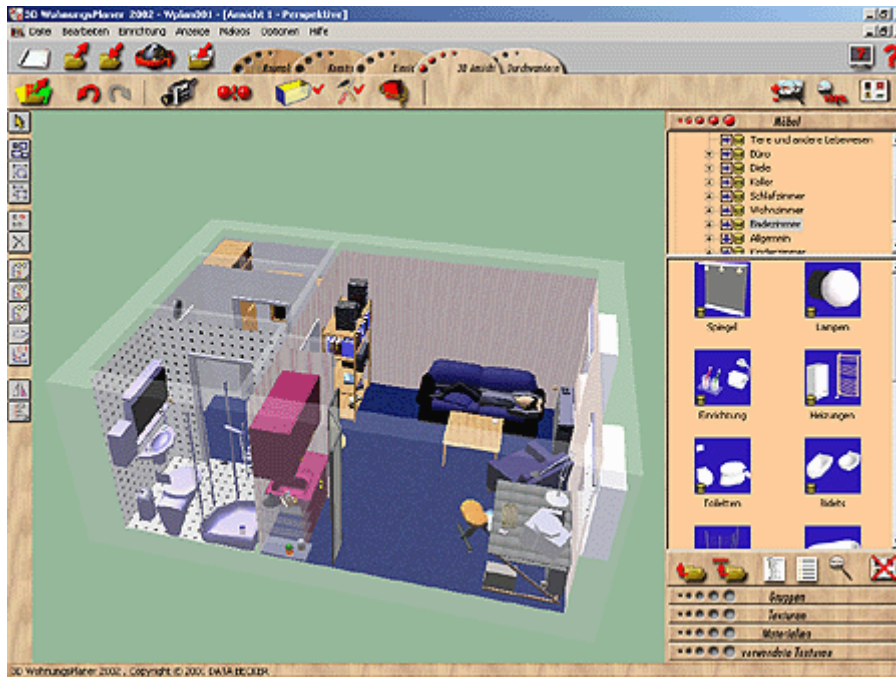


Abbildung 3: 3D Wohnungsplaner [Data Becker, <http://www.databecker.de>, 14.09.2003]

Ein Nachteil beim Kauf von Modeartikeln im Internet, ist die fehlende Möglichkeit den Artikel anzuprobieren. Im Online-Angebot des Versandhauses Neckermann übernimmt ein virtuelles Model die Möglichkeit diesen Part der Anprobe.



Abbildung 4: Virtuelles Model bei Versandhaus Neckermann AG [Neckermann AG, <http://www.neckermann.de>, 14.09.2003]

Der Textilhersteller Lands' End geht sogar noch einen Schritt weiter. Unter dem Service „My Virtual Model“ können dem Model interaktiv individuelle Körperproportionen zugewiesen werden [Lands End, <http://www.landsend.de>, 14.09.2003].

Alle vorangegangenen Beispiele zeigen, dass sowohl dreidimensionale, interaktive und auch Modelle unterschiedlichen Maßstabs mit dem Computer erstellt werden können und bereits in unser Alltagsleben eingezogen sind.

Prof. Josef Strobl stellt in dem Buch “Trends in GIS” die Bedeutung der Visualisierung räumlicher Daten so dar: „One of today’s main challenges clearly is being able to successfully bridge these two worlds, the ‘cyberspaces’ of structured information and the ‘geography’ of spatial reality as we perceive it. [...] there lies huge potential in a tight integration of our virtual and real environment.” [STROBL 2002, 3].

3D-Geovisualisierungen sind nichts Neues. Von der Visualisierung des Erdballs, einzelner Kontinente, Gebirge und Landschaften existieren sämtliche Varianten. Traditionell liegen Geovisualisierungen im kleinmaßstäblichen Bereich. Stadtvisualisierungen gehören größtenteils auch noch in diesen Bereich, wobei hier je nach Maßstabsbereich schon Überschneidungen zum großmaßstäblichen Bereich der Architekturvisualisierung auftreten können.

Im großmaßstäblichen Bereich reicht die Bandbreite der erfassbaren Objekte von kleinen Pflanzen bis zu mehrere hundert Meter langen Geländeoberflächen, vom Papierkorb bis zur Kirche.

Der Maßstabsbereich, der in dieser Arbeit abgedeckt werden soll, ist in Abbildung 5 schematisch dargestellt:

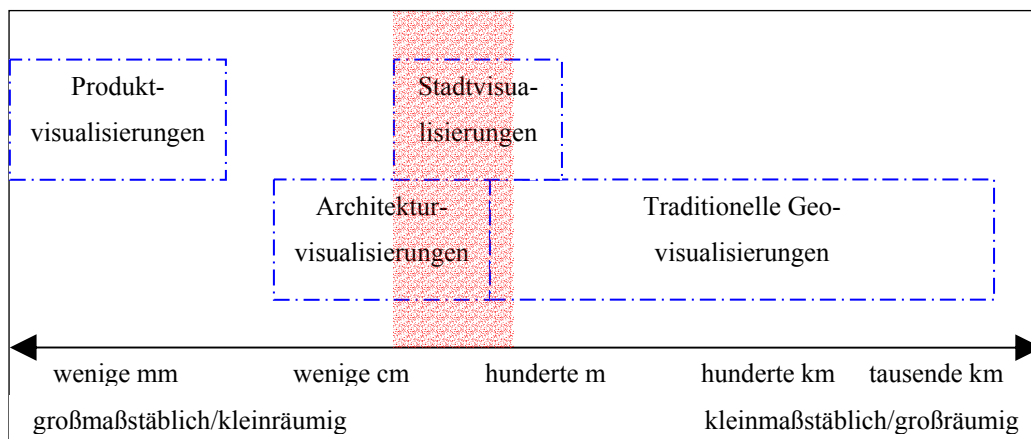


Abbildung 5: Maßstabsbereich dieser Arbeit

Während die Analyse von Geodaten eher den erfahrenen Anwendern oder Experten überlassen bleibt, kann der Laie Geodaten aber durchaus explorativ oder informativ nutzen.

Nach einer Studie des Instituts für Demoskopie Allensbach nutzen derzeit fast 70% der 14- bis 64-Jährigen in Deutschland das Internet [heise online, <http://www.heise.de>,

13.10.2003] und die Tendenz ist weiter steigend, sodass in wenigen Jahren praktisch jeder in Deutschland Lebende Informationen über das Internet beziehen kann. Die technische Entwicklung für die Übertragung von Daten über das Internet schreitet zwar stark voran. Trotzdem hat der durchschnittliche Internetnutzer in Deutschland momentan nur ein 56k-Modem und eine analoge Telefonleitung zur Übertragung der Daten mit dem Internet zur Verfügung (nach einer Studie des Marktforschungsunternehmens Jupiter MMXI aus Nürnberg).

<i>Datenvolumen</i>	<i>Downloadzeit (ca.)</i>
500 Kilobyte	1 Minute 15 Sekunden
1 Megabyte	2m 30s
1,5 Megabyte	3m 45s
2 Megabyte	5m
10 Megabyte	25m

Abbildung 6: Downloadzeit in Abhängigkeit vom Datenvolumen bei einem 56k-Modem

Die akzeptable Downloadzeit von Daten via Internet ist individuell verschieden; fünf Minuten ist wahrscheinlich das Maximum. Eine Downloadzeit von 25 Minuten ist i.d.R. nicht mehr akzeptabel.

Dreidimensionale raumbezogene Daten (3D-Geodaten) haben naturgemäß ein hohes Datenvolumen. 3D-Geovisualisierungen, die sich ein Nutzer via Internet herunterlädt, müssen folglich so bearbeitet werden, dass das Datenvolumen entsprechend klein wird.

1.2 Technische Gegebenheiten

Hard- und Software, die dem Autor zur Verfügung stehen:

- Digitalkamera Fuji Finepix 2 Megapixel zur Erstellung der Texturen.
- PC Desktop Microstar, Pentium III 500MHz, 448MB RAM, 128MB nVidia Grafikkarte, Soundkarte, Maus, Tastatur.
- Terrestrischer Laserscanner Riegl LMS-Z210, div. Zielmarken, Maptek I-SiTE Studio 2.1., Laptop Dell.
- @Last Software SketchUp 3.0.12
- 3D Nature World Construction Set 6
- Adobe Photoshop 6.01
- Autodesk AutoCAD 2000
- Corel Draw 10

- Discreet 3ds max 5, Habware Terrain2 Plugin, Web3D X3D Plugin
- ESRI ArcView 3.3 mit Extension 3D-Analyst, MapViewSVG 3.x
- IBM Xena 1.2EA und Web3D X3D-Edit
- ParallelGraphics Cortona VRML Client 4.1
- Windows 2000 Professional, Windows XP Professional

1.3 Räumliche Gegebenheiten

Die angewendeten Techniken und Methoden in dieser Arbeit, werden zum besseren Vergleich anhand eines Fallbeispiels erläutert. Der gewählte Ausschnitt hat eine Ausdehnung von ca. 100mx500m und befindet sich in Augsburg/Deutschland (48° 22' 20'' Nord, 10° 54' 00'' Ost). Er ist Teil einer Kanusportanlage, die 1970 anlässlich der Olympischen Sommerspiele 1972 in München erbaut wurde. Mit einem Gefälle von ca. 4m auf einer Länge von ca. 320m war der sog. „Eiskanal“ der erste künstlich angelegte Wildwasserkanal dieser Art in der Welt. Neben den olympischen Kanuslalom-Wettbewerben 1972 wurden drei Weltmeisterschaften, mehrere Weltcuprennen, unzählige Deutsche Meisterschaften und andere Veranstaltungen am Eiskanal durchgeführt. Neben der sportlichen Nutzung wird die Park-ähnliche Anlage auch als Freizeitgelände durch die Augsburger Bevölkerung genutzt. Durch Geländemodellierungen und natürliche Böschungen zu beiden Seiten, der in das Gelände eingebetteten Kanustrecke und die fest eingebauten Erdtribünen mit Stufenkanten aus Holz, wurde ein Stadion mit einem Fassungsvermögen von ca. 25.000 Zuschauern geschaffen. Entlang der Strecke wurden mehrere Gebäude errichtet, in denen heute zwei Kanu-Vereine, ein Olympia-Stützpunkt, Sportgeschäft und Restaurant untergebracht sind. Historisch bedingt münden weitere Kanäle in das Gebiet, die alle ihr Wasser dem Fluss Lech entnehmen und u.a. für den Kanusport genutzt werden. Die gesamte Anlage wird begrenzt durch den Lech auf der einen Seite und dem Naherholungsgebiet Siebentischwald auf der anderen Seite.



Abbildung 7: Eiskanal in Augsburg

Der Autor hat bewusst dieses Gelände als Fallbeispiel gewählt, da er selbst seit 20 Jahren den Wildwasser-Kanusport ausübt und die Anlage fast täglich nutzt.

2 Konzeption

2.1 Problematik

- Der Hauptbestandteil einer 3D-Geovisualisierung ist die Geländeoberfläche. Diese kann aus digitalen Höhenmodellen erstellt werden. Die Auflösung von üblichen digitalen Höhenmodellen liegt bei 1mx1m oder niedriger und ist daher zu grob für großmaßstäbliche/kleinräumige Raumausschnitte.
- Viele Erfassungsmethoden erfassen einen Raumausschnitt nur aus einer oder zwei Positionen. Dadurch werden Teile verdeckt. Eine Visualisierung aus solchen Daten ist nur dann sinnvoll, wenn der Betrachtungswinkel gleich dem Erfassungswinkel ist. Eine interaktive 3D-Visualisierung ist damit nicht möglich.
- Vollständig digitalisierte Geodaten eines großmaßstäblichen/kleinräumigen Raumausschnitts sind i.d.R. selten. Ein Anbieter verkauft z.B. Straßendaten, ein Anderer ein digitales Höhenmodell, Vegetation wird selten digitalisiert, weil sie sich zu stark verändert. Daher müssen vorhandene Geodaten von unterschiedlichen Anbietern zusammengesucht werden.
- Dadurch müssen viele verschiedene Fremddaten zusammengefasst werden, die in fast immer in unterschiedlichen Datenformaten vorliegen. Datenkonvertierungen können zeitaufwändig, teuer, fehlerhaft und nicht immer durchführbar sein.
- Geodaten sind fast immer zu unterschiedlichen Zeitpunkten (teilweise mehrere Monate und Jahre Unterschied) erfasst worden. Die unterschiedliche Aktualität der Geodaten ist bei der Synthese zu einem Modell nachteilig, weil sich Elemente im Laufe der Zeit ändern, Neue entstehen oder verschwinden (z.B. enthält ein Datensatz eine Strasse, in einem anderen Datensatz steht an gleicher Stelle noch ein altes Haus).
- Vielen vorhandenen Geodaten fehlt die dritte Dimension (Höhe). Sie sind damit für ein 3D-Modell nutzlos oder müssen erst mit einem digitalen Höhenmodell verknüpft werden. Solche Verknüpfungen vermindern die Genauigkeit, was insbesondere bei großmaßstäblichen/kleinräumigen Raumausschnitten problematisch ist.
- Die Kosten für Geodaten im Jahr 2003 sind nicht einheitlich geregelt. Es ist nicht unüblich, dass die Kosten für Geodaten höher sind, als die Personalkosten für deren

Bearbeitung. Die Kosten für eine Visualisierung übersteigen dann häufig deren tatsächlichen Wert.

- Geovisualisierungen bestehen aus sehr komplexen und einmaligen geometrischen Formen. Der entscheidende Unterschied zu anderen Visualisierungen (z.B. Architekturvisualisierungen) ist die Tatsache, dass sie sich nicht aus einfachen Geometrien wie Geraden, Rechtecken oder Kreisen aufbauen lassen. Dadurch sind Geovisualisierungen schwerer zu modellieren und erzeugen ein höheres Datenvolumen.
- Eine automatische Modellierung der Geodaten durch mathematische Algorithmen ist mit der derzeit am Markt befindlichen Software nur begrenzt realisierbar. Eine Software, in die Geodaten jeglicher Herkunft und Formats importiert, wenige Funktionen aufgerufen werden und als Resultat ein universell einsetzbares digitales Modell liefert, ist nicht auf dem Markt.
- Daraus folgt, dass je nach Anforderung verschiedenste Software zur Erstellung eingesetzt werden muss. Jede einzelne Anwendung kann sehr teuer sein; zeitintensive Einarbeitungen sind immer notwendig.
- Aus der Erfassung eines dreidimensionalen Raumausschnitts resultieren sehr große Datenmengen. Das Datenvolumen eines fertigen 3D-Modells beträgt meist mehrere Megabyte. Das stellt hohe Ansprüche an die technischen Mittel zur Bearbeitung und Repräsentation digitaler Modelle. Die Umsetzung der Realität in die digitale Form stößt dann sehr schnell an die Grenzen der Datenspeicherung und der Computergrafik, insbesondere wenn die grafischen Anforderungen an das Modell einen hohen Detaillierungsgrad verlangen.
- Internetnutzer werden durch ein großes Datenvolumen abgeschreckt. Die akzeptable Downloadzeit eines durchschnittlichen Nutzers im Jahr 2003 (56k-Modem) liegt zwischen einer und fünf Minuten und damit zwischen ca. 500 und 2.000 Kilobyte (Diskette=1.400Kb, CD-ROM=700.000Kb). Das Datenvolumen webbasierter 3D-Geovisualisierungen muss folglich bereits bei der Erstellung reduziert werden.
- Die Vielfalt an verwendeter Software zur Erstellung von digitalen Modellen hat eine Vielfalt an Darstellungsformaten zur Folge. Der Nutzer wird ständig gezwungen, verschiedene Software zur Darstellung der Modelle zu installieren. Das ist nicht anwenderfreundlich und teilweise auch gar nicht möglich (Firewall, eingeschränkte Rechte auf dem Computer). Potentielle Nutzer werden dadurch abgehalten.
- Viele Geovisualisierungen bestehen aus einem statischen Bild einer Szene (ähnlich eines Fotos oder Fotomontage) oder vordefinierten Überflügen. Der Nutzer be-

kommt aber erst durch die Interaktivität mit der Szene einen echten Mehrwert. Das digitale Modell sollte sich nach seinen individuellen Wünschen richten: z.B. die Änderung der Betrachtungsrichtung, des Betrachtungswinkels, des Abstands, der Farbgebung, der Bewegungsgeschwindigkeit im Modell oder das Ein- und Ausschalten von Elementen.

- Geodaten und 3D-Geovisualisierungen werden i.d.R. in proprietären Datenformaten gespeichert. Ihre Wiederverwendbarkeit ist dadurch eingeschränkt. Die erneute Verwendung der einmal erfassten Daten oder erstellten Visualisierungen bedeutet aber einen Mehrwert. Dafür muss das Datenformat offen zugänglich und standardisiert sein.

2.2 Thesen

1. Mit einem terrestrischen Laserscanner können großmaßstäbliche/kleinräumige dreidimensionale Raumausschnitte einfacher, schneller und vollständiger als mit anderen Erfassungsmethoden aufgenommen werden.
2. Dementsprechend sind die Kosten für die Erfassung niedriger.
3. Laserscanner-Daten können nicht nur zu den traditionellen Zwecken, wie die ingenieurtechnische Vermessung oder die Volumenberechnung verwendet werden, sondern können auch als Basis für 3D-Geovisualisierungen dienen.
4. Das Datenvolumen von Laserscanner-Daten kann so reduziert und optimiert werden, dass daraus erstellte 3D-Geovisualisierungen trotzdem noch realitätsnah erscheinen.
5. Demzufolge sind die Downloadzeiten einer 3D-Geovisualisierung für den durchschnittlichen Internetnutzer akzeptabel.
6. 3D-Geovisualisierungen können ausschließlich aus Laserscanner-Daten erstellt werden. Bis auf Texturen sind keine Fremddaten notwendig.
7. Laserscanner-Daten und 3D-Geovisualisierungen sollen in offene und standardisierte Datenformate umgewandelt werden. Dadurch ist eine komplette oder teilweise Wiederverwendbarkeit garantiert.
8. Die Bearbeitung und Darstellung von Laserscanner-Daten soll keine spezielle Computer-Ausstattung erfordern.
9. 3D-Geovisualisierungen sollen dem Nutzer individuelle Interaktivität mit dem digitalen Modell gestatten und ohne zusätzliche Software darstellbar sein.
10. 3D-Geovisualisierungen aus Laserscanner-Daten sind vielen Bereichen einsetzbar.

2.3 Aufgabenstellung

Inhalt dieser Arbeit ist es, alle sichtbaren Elemente eines abgegrenzten geografischen Raumes mit Hilfe eines terrestrischen Laserscanners zu digitalisieren. Die gewonnenen Daten werden computergestützt bearbeitet. Dem Anwender wird ein dreidimensionales und interaktives digitales Modell über das Internet zur Verfügung gestellt.

Ziel dieser Arbeit ist die Umsetzung der in Kapitel 2.2 aufgestellten Thesen.

Zu Beginn der Arbeit werden in Kapitel drei grundlegende Begriffe und Festlegungen zur Thematik aufgezeigt.

Anschließend wird in Kapitel vier zunächst allgemein über die Erfassung mit einem terrestrischen Laserscanner, Erfassungsobjekte, Daten und Datenreduktion informiert.

In Kapitel fünf werden einige Techniken zur Visualisierung von Laserscanner-Daten erläutert, welche Software zur Bearbeitung und Darstellung eingesetzt werden kann. Speziell wird die Visualisierung mit offenen und standardisierten Datenformaten erklärt. Abschließend wird tabellarisch ein Überblick über die wichtigste Software und ihre Möglichkeiten gegeben.

In Kapitel sechs zeigt der Autor eine mögliche Vorgehensweise zur Erstellung von 3D-Geovisualisierungen. Beginnend mit den Daten aus der Erfassung mit dem terrestrischen Laserscanner werden alle Schritte aufgezeigt, die notwendig sind für die Erstellung eines fertigen digitalen 3D-Modells. Abschließend wird der Datenfluss noch einmal schematisch aufgezeigt.

In Kapitel sieben werden die Kosten für die Datenerfassung mit einem terrestrischen Laserscanner und der Software zur Bearbeitung der Daten dokumentiert.

In Kapitel acht werden potentielle Anwendungsgebiete und Nutzer erörtert.

Im letzten Kapitel werden die aufgestellten Thesen auf ihre Richtigkeit überprüft und ausgewertet.

2.4 Methodik

In der folgenden Abbildung wird die Vorgehensweise noch einmal schematisch dargestellt:

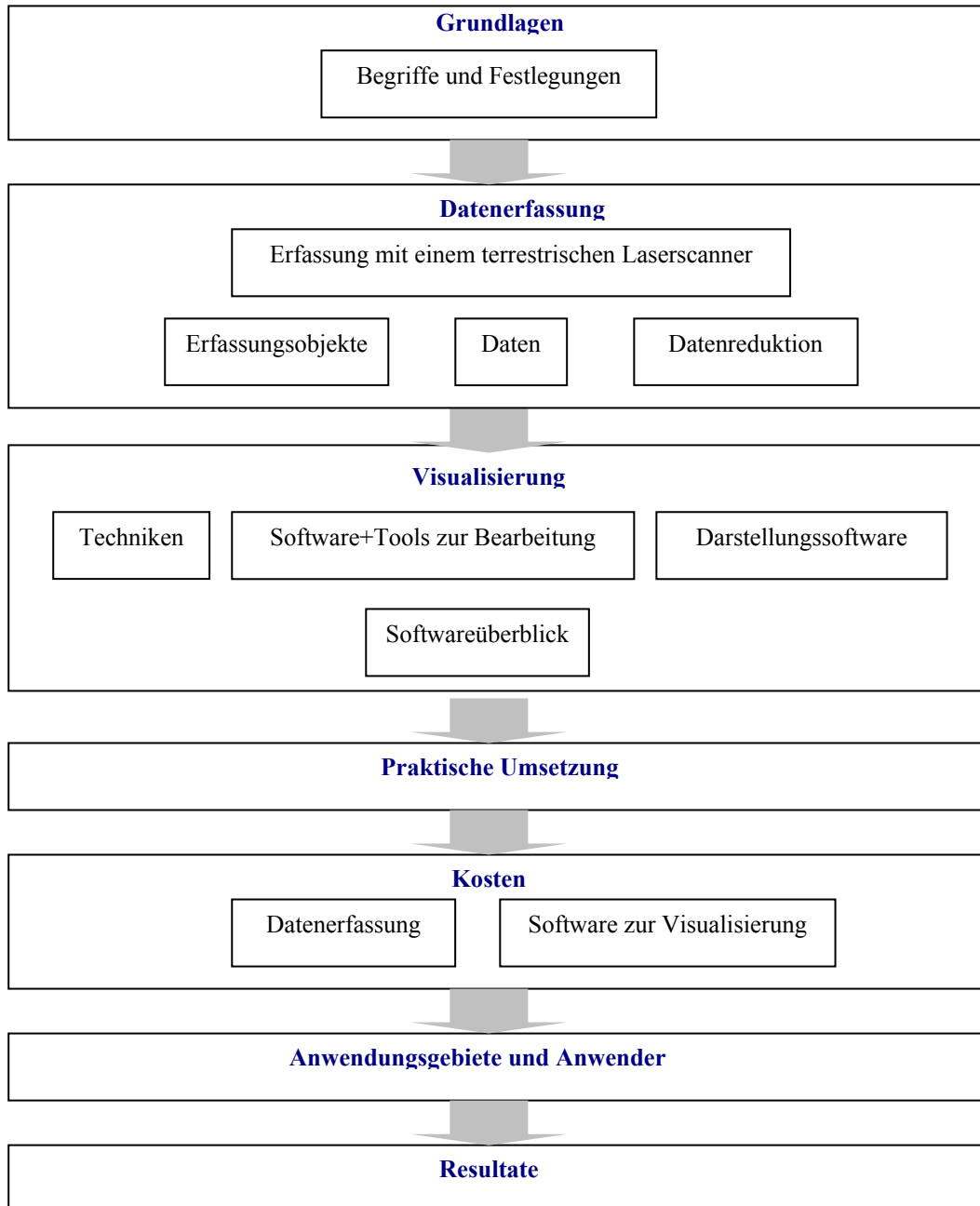


Abbildung 8: schematische Vorgehensweise

3 Grundlagen

Vorab werden einige Begriffe erläutert, die zum Verständnis der Thematik dienen.

3.1 Wahrnehmung des Menschen

Die fünf Sinne, durch die der Mensch seine Umgebung wahrnimmt, ihrer Wichtigkeit nach geordnet:

- Sehsinn, als aktiver und selektiver Sinn. Die Wahrnehmung visueller Reize erfolgt vornehmlich durch Kopf- und Augenbewegungen sowie Fixierung bestimmter Gegenstände der Umgebung [SCHAUPPENLEHNER 2001, 13]. 80% der Sinneseindrücke werden über die Augen wahrgenommen. Das Medium, mit dem visuelle digitale Daten am Computer sichtbar gemacht werden sind die Grafikkarte und der Monitor oder Projektoren.
- Hörsinn, als passiver Sinn, nimmt eher die Gesamtheit der Umwelt auf [SCHAUPPENLEHNER 2001, 13]. Mit Hilfe von Soundkarte und Lautsprechern werden digitale Daten hörbar. In Landschaftsmodellen kann z.B. Lärm an verschiedenen Positionen demonstriert werden.
- Tastsinn, Geruchssinn und Geschmackssinn sind im Gegensatz zu Sehen und Hören keine Ferneindrücke, sondern zählen zu den körperlichen Wahrnehmungen und sind weit schwieriger zu beeinflussen. Unter dem Begriff „haptische Technologie“ werden Möglichkeiten erforscht, wie man o.g. Sinneseindrücke übertragen und simulieren kann. „Die Technologie ist weit aufwändiger als beispielsweise Joysticks für PC-Games, die passend zum Spielgeschehen rütteln oder einen höheren Widerstand bieten“ [ComputerWoche Online, <http://www2.computerwoche.de/index.cfm?pageid=254&artid=50654>, 24.09.2003]. Solche Technologien sind in der Versuchsphase und nicht Standard und finden deswegen hier keine Beachtung in dieser Arbeit. Trotzdem werden sich in Zukunft viele Anwendungsmöglichkeiten eröffnen (z.B. Simulation von Geruchsbelästigung durch Autoverkehr, Wärme-wahrnehmung durch Sonneneinstrahlung).

Der Prozess der Wahrnehmung kann demnach folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Wahrnehmung ist Informationsaufnahme und –Verarbeitung

- ein aktiver, Ordnung schaffender Vorgang und keine einfache Abbildung der Umwelt [SCHAUPPENLEHNER 2001, 13].

Kognitive Aspekte, wie sie in der Kartografie berücksichtigt werden (z.B. Konventionen zu Symbol- und Farbwahl, etc.), müssen bei der vorliegenden Arbeit kaum berücksichtigt werden, da die dargestellten Geoobjekte so wenig wie möglich abstrahiert werden sollen.

3.2 Realität und Virtualität

Was versteht man eigentlich genau unter Realität? Was ist Illusion? Fragen wie diese beschäftigen den Menschen schon seit Jahrhunderten.

Neue Studien aus der Gehirnforschung enthüllen, dass weder Licht noch Ton unser Gehirn erreichen. Vielmehr kommen dort elektrische Reize an, die von unseren Sinnen produziert werden und dann in bedeutungsvolle Empfindungen umgewandelt werden. Da das Gehirn nicht zwischen realen und künstlichen elektrischen Reizen unterscheiden kann, können wir es nur in der Vorstellung vorhandene Bilder ‚sehen‘ und auf diese reagieren lassen, ganz als seien sie real. Was sehen wir also wirklich, wenn wir einen roten Apfel sehen? Was zeichnet dessen Realität aus? Befindet sich die Realität dieses Apfels außerhalb von uns selbst, täuschen uns unsere Sinne oder wird uns die Welt auf andere Art und Weise präsentiert? Wenn Realität doch das ist, was wir wahrnehmen, und das, was wir wahrnehmen, aus elektrischen Signalen besteht, dann ‚erschafft‘ doch das Senden von Reizen an unser Gehirn eine Wahrnehmung, die real ist, oder etwa nicht?

Die moderne Technologie hat diesen Fragen eine neue Perspektive hinzugefügt: die Virtuelle Realität (VR). Wir sind heute in der Lage, Realität zu ‚erschaffen‘, doch woher wissen wir, dass das, was wir als Realität betrachten, wirklich auch real ist? Wäre es nicht vielleicht sogar möglich, dass wir selbst nur Mitspieler im virtuellen Programm anderer sind? [LANGE 2001, 15]

Der Begriff VR wurde in den späten 70er Jahren am Massachusetts Institute of Technology geprägt. Unter virtueller Realität versteht man Techniken und Methoden, um einen Menschen in eine ganz oder teilweise vom Computer erzeugte künstliche Umgebung zu versetzen [RECHENBERG 2002, 850]. Wesentliche Eigenschaften Virtueller Realität:

- Immersionsgrad
- Abstraktionsgrad

- Echtzeit
- Interaktivität
- Manipulation

Um einem Benutzer ein überzeugendes eintauchen in eine VR zu ermöglichen sollten möglichst viele seiner Sinne angesprochen werden.

Perfekte virtuelle Systeme simulieren die Realität, einschließlich aller Interaktionen (Wechselbeziehungen), aller vorgesehenen Objekt-Handlungen und reeller oder imaginärer physischer Gesetze (z.B. Schwerkraft).

In dieser Arbeit beschränkt sich der Autor auf Desktop VR Systeme, die zur Darstellung ein 2D-Ausgabemedium (Bildschirm), Maus und Tastatur zur Interaktivität und Manipulation verwenden. Auf neuere Technologien wie Head Mounted Displays, Datenhandschuhe, etc. wird nicht eingegangen, da diese zum Zeitpunkt der Entstehung dieser Arbeit nicht Standard für den durchschnittlichen Computeranwender sind. Auch 3D-Bildschirme, wie z.B. der Firma X3D Technologies GmbH, sind nicht Standard, können aber optional eingesetzt den Realitätsgrad für den Nutzer sehr stark erhöhen.

3.3 Geovisualisierung

Visualisierung (im Sinne der Informatik) ist die zielgerichtete Transformation von Daten in ein sichtbares Bild zur Unterstützung der Exploration (Erkundung), Kognition (Erkennen) und Explanatation (Erklärung) von Strukturen und Prozessen.

Die Geovisualisierung ist ein Teilbereich der allgemeinen Visualisierung, deren Schwerpunkt auf der Darstellung der Erdoberfläche und ihrer darauf vorhandenen Geoobjekte. Diese liegen georeferenziert vor, d.h. die Objektkoordinaten werden in einem geeigneten geodätischen oder projektiven Referenzsystem vorgehalten und entsprechen einer Position auf der Erdoberfläche.

Es wird unterschieden zwischen realen Geoobjekten und visualisierten Objekten. Zum Beispiel sind in Geoobjekten, im Gegensatz zu visualisierten Objekten, thematische Informationen gespeichert, aber keine Informationen über ihre visuelle Ausgestaltung. Demzufolge gibt es zu jedem Geoobjekt mehr als eine visuelle Ausgestaltung, je nach Abstraktions- und Detaillierungsgrad.

Weiterhin können in einem virtuellen Modell Objekte geschaffen werden, die nicht mehr oder noch nicht existieren oder nur zur Interaktion geschaffen worden sind, also in der realen Welt gar kein korrespondierendes Geoobjekt besitzen.

Meines Erachtens, kann man den Begriff Geovisualisierung in drei Bereiche unterteilen (siehe Abb. Abbildung 9: Teilbereiche der Geovisualisierung), wobei sich die Bereiche mehr oder weniger stark überschneiden.

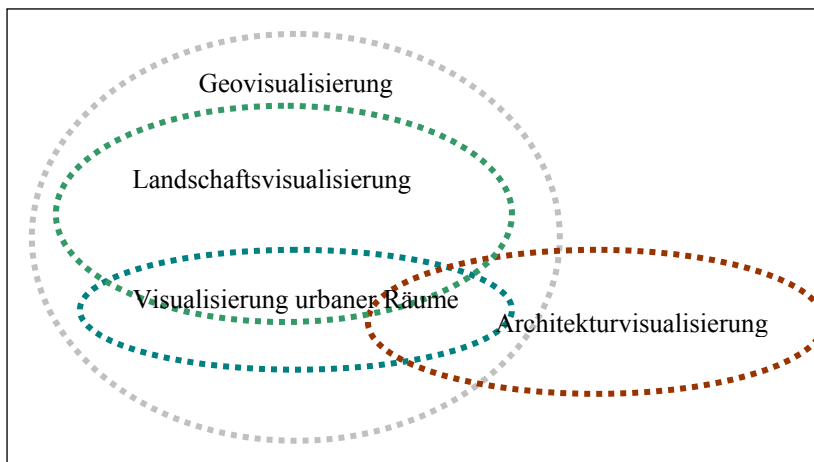


Abbildung 9: Teilbereiche der Geovisualisierung

Die Architekturvisualisierung hat ihren Fokus auf einem oder wenigen Bauwerken (z.B. Häuser, Straßen, Brücken). Die Visualisierung urbaner Räume zielt auf die Gesamtheit von Bauwerken und Infrastruktur einer besiedelten Fläche ab. Die Landschaftsvisualisierung bezieht sich auf die Visualisierung von Natur- und Kulturlandschaft (z.B. Wald, Wiesen, Gewässer, Parks), allerdings in einem sehr breiten maßstäblichen Spektrum: vom Kleingarten bis zum tropischen Regenwald kann alles als Landschaft bezeichnet werden. Als Naturlandschaft wird ein Ausschnitt der Erdoberfläche bezeichnet, der Elemente enthält wie eine Oberflächenform, Vegetation, Wasser und die Atmosphäre. Die Kulturlandschaft enthält zusätzliche oder veränderte Elemente, die vom Menschen geschaffen worden sind, wie z.B. Bauwerke, Strassen, Plantagen und Felder.

Eine klare Abgrenzung zwischen den Teilbereichen kann nicht getroffen werden, nur durch den unterschiedlichen Fokus und Maßstabsbereich kann eine Einteilung stattfinden. ERVIN z.B. unterteilt die Elemente einer Geovisualisierung in sechs Hauptgruppen: Gelände, Vegetation, Wasser, Infrastrukturen, Lebewesen und Atmosphäre. Inwieweit diese Elemente von einem terrestrischen Laserscanner erfasst werden können wird in Kapitel 4.2 näher erläutert.

3.4 Interaktivität

Die Interaktivität beschreibt den dynamischen Aspekt der Landschaftsvisualisierung, der nach ERVIN 2001 in drei Haupttypen gegliedert ist: Bewegung durch, Bewegung

der und Interaktion mit der Landschaft. Der Benutzer kann dabei passiv (keine Steuerung von außen, lediglich vordefinierte Bewegungen), aktiv (freie Bewegung im Raum) und interaktiv (freie Bewegung und Beeinflussung der Szene) mit dem digitalen Landschaftsmodell interagieren [SCHAUPPENLEHNER 2001, 20]. Interaktivität ist die Fähigkeit eines Systems, im laufenden Betrieb Benutzereingriffe zu erlauben, auf welche dieses in kurzer Zeit und in geeigneter Weise reagiert. Beispiele für Interaktivität sind das Durchwandern einer Szene, Modifikationen von Objektgeometrien und Änderung von Darstellungsparametern.

3.5 Kartografische Umsetzung

Die klassische topografische Karte kann auf eine lange Entwicklungsgeschichte zurückblicken. Die Auswahl und die Positionierung von Elementen folgen strengen Regeln. Dadurch ist es mit einiger kartografischer Bildung möglich, die gezeigte Information zu verstehen. Im Gegensatz dazu liefern 3D-Modelle Information über die Geländeoberfläche eher intuitiv. Das Gelände wird sofort erkannt und muss nicht erlesen werden. Die strengen Regeln einer 2D-Karte können allerdings nicht direkt für die Darstellung eines dreidimensionalen Raumes angewandt werden, da in der 3D-Ansicht ebene Symbole nicht mehr erkennbar wären. Die Überlagerung von Elementen ändert sich mit jeder Ansicht desselben Ausschnittes und eine Ansicht enthält mehrere entfernungsabhängige Maßstäbe.

Gegenüber dem klassischen kartografischen Produkt besitzt die 3D-Darstellung einige besondere Eigenschaften. Als Konsequenz der perspektivischen Ansicht ist die Geometrievergleichbarkeit verändert. Nachdem der Maßstab nicht konstant ist, können keine Distanzen gemessen werden, die außerhalb der Blickachse liegen oder im Vordergrund nicht orthogonal auf dieser stehen. Elemente der Karte können durch das Gelände verdeckt werden und verhindern das Erkennen der allenfalls gewünschten Information.

Diese Nachteile können durch geeignete Ausgabemedien abgeschwächt werden. Die Programmierung einer 3D-Karte als interaktive Bildschirmdarstellung erlaubt eine Drehung des Geländes - und daher die Beseitigung der Verdeckung - und die Entfernungsmessung auf dem Gelände [JOBST 2002, 256].

4 Datenerfassung

Um digitale Modelle erstellen zu können, müssen geometrische Formen (z.B. Punkte, Linien, Polygone, Flächen) digital vorhanden sein, die anschließend durch Kombination mit Elementen wie z.B. Farben oder Bildern zu eben diesen zusammengefügt werden.

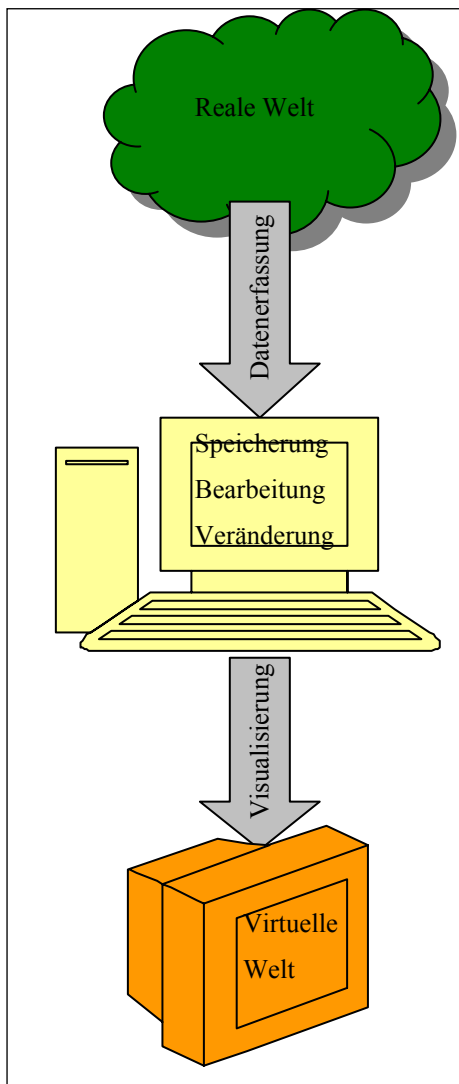


Abbildung 10: Schema zur Erstellung eines digitalen Modells

Grundsätzlich muss zwischen Sekundär- und Primärdatenerfassung unterschieden werden. Primärdaten können direkt als Abbild der Realität wahrgenommen werden (z.B. Luftbild), Sekundärdaten sind z.B. Höhenwerte, die nicht direkt bildgebend sind. Darüber hinaus muss zwischen Daten unterschieden werden, die aus anderen Daten abgeleitet werden oder direkt aus der Realität abgeleitet sind und Daten, die bereits geometrische Informationen enthalten oder solche, aus denen erst welche gewonnen werden

müssen. Der Nachteil abgeleiteter Daten ist die zum Teil sehr lange Bearbeitungskette, Fehler in den einzelnen Arbeitsschritten addieren sich im Endprodukt auf und die lange Erstellungsdauer kann die Aktualität solcher Daten mindern.

4.1 Datenerfassung mit einem terrestrischen Laserscanner

Laser steht für “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”, was soviel wie “Lichtverstärkung durch künstlich angeregte Aussendung von Strahlung” bedeutet. Ein Laser strahlt Licht aus. Im Großen und Ganzen kann man die Funktionsweise des Lasers mit der einer Glühlampe vergleichen. Bei einer Glühlampe wird dem Glühfaden elektrische Energie zugeführt, welche die Metallatome mit Energie auflädt (die Metallatome treten in einen “höheren Energiezustand”). Die Metallatome geben diese Energie dann in Form von Lichtteilchen ab (sog. Photonen). Danach kehren sie in ihren energieärmeren Zustand zurück. Jedes Atom sendet bei dieser Energieänderung seine Photonen unabhängig von den anderen aus. Das führt dazu, dass Lichtwellen mit völlig unterschiedlichen Wellenlängen (Frequenzen) entstehen, die sich in alle Richtungen ausbreiten. Diese Wellenlängen nehmen das gesamte Spektrum des sichtbaren Lichtes ein. Das Gemisch aller Farben im Bereich des sichtbaren Lichtes wird von unserem Auge als weiß interpretiert.

Der Laser hingegen erzeugt ein nahezu paralleles Lichtbündel (d.h. alle Strahlen werden in dieselbe Richtung ausgesendet), das aus einer einzigen Farbe besteht (monochromatisch). Die Wellenlänge des Lichtbündels variiert von infrarot bis ultraviolett. Die einzelnen Wellen des Laserlichtes schwingen zusammenhängend (kohärent). Die Intensität der Laserstrahlung ist zudem viel höher als bei normalem Mischlicht.

Ein Laserscanner kann als Analog-Digital-Wandler aufgefasst werden, der ein- zwei oder dreidimensionale Informationen liefert. Laserlicht wird in einem regelmäßigen Raster vom Sender des Scanners auf das Messobjekt gerichtet. Innerhalb der Empfangsapparatur des Scanners wird über einen oder mehrere lichtempfindliche Sensoren der vom Objekt reflektierte Laserstrahl ausgewertet. Der Strahl wird durch die Objektgeometrie und dessen Reflektionseigenschaften in typischer Weise abgelenkt, gestreut oder anderweitig verändert. Bei einem Laserscanner, der zur Bauaufnahme geeignet ist, wird als Lichtquelle ein Laserlicht verwendet. Die Entfernung wird über die Laufzeit oder Phasenverschiebung des vom Messobjekt zurückgeworfenen Lichtes bestimmt. Der Laserstrahl wird meist über Spiegelsysteme schrittweise in der Horizontalen und Verti-

kalen abgelenkt. Als Ergebnis erhält man ein Messwerttripel, bestehend aus der gemessenen Schrägentfernung und den korrespondierenden Einstellwerten für die Horizontal- und Vertikalablenkung. Einige Systeme liefern die sich daraus unmittelbar ergebenden kartesischen Koordinatenwerte (x, y, z). Aus der Funktionsweise ist ersichtlich, dass mit dem Laserscanner i.d.R. nicht wie gewohnt das Messobjekt durch wenige, repräsentative Punkte diskretisiert wird, sondern dass in einem regelmäßigen Raster das Objekt abgetastet und es so durch eine Wolke von gleichwertigen, unklassifizierten Punkten beschrieben wird [NIEMEIER 2002, 15].

Terrestrisches Laserscannen erfolgt mit Systemen, die am Boden betrieben werden. Sie sind für die Bedienung von ein oder zwei Personen ausgelegt und sind geeignet, Geländeausschnitte in wenigen Minuten bis zu einigen 100 ha dreidimensional zu erfassen.

4.1.1 I-SiTE System

In dieser Arbeit wird der Laserscanner LMS Z210 der Firma RiegI verwendet.



Abbildung 11: Laserscanner RiegI LMS Z210 auf Stativ mit Laptop [<http://www.ostenrieder.de>, 20.11.2003]

Technische Daten des Laserscanners:

Minimale Reichweite: 2 m

Maximale Reichweite: 350 m

Horizontaler Messwinkel: 340°

Vertikaler Messwinkel: +/- 40°

Messrate: 6000 Punkte/Sekunde

Gewicht: 13 kg

Laserklasse: 1

Laserstrahl Divergenz: 3 mrad

Genauigkeit: ca. 25 mm

Stromversorgung: 11-18V DC, max. 3A [OSTENRIEDER 2003-1,1]

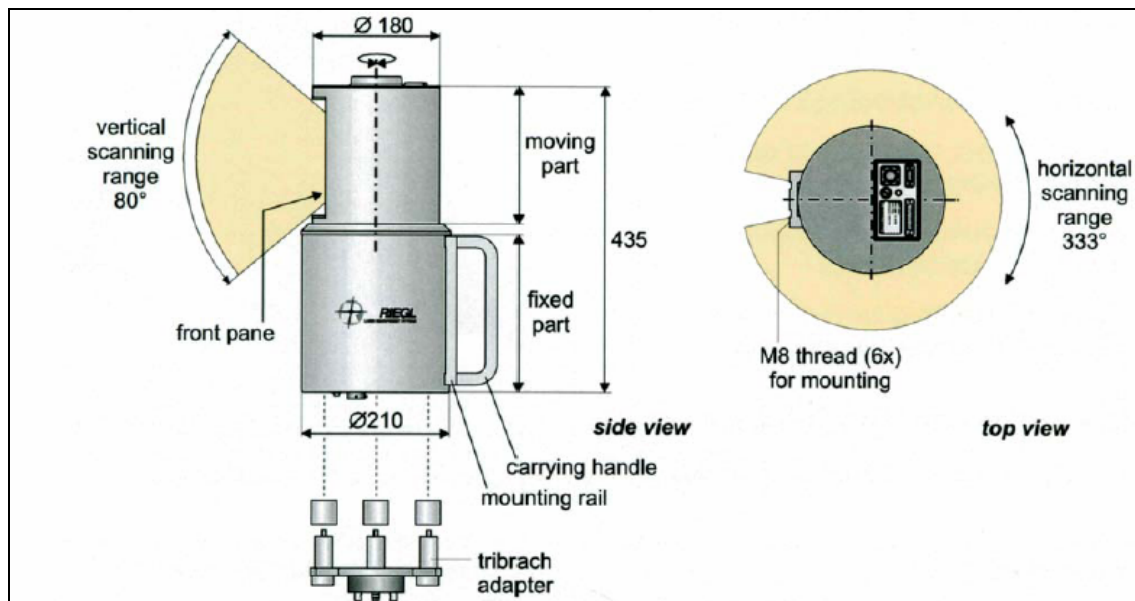


Abbildung 12: Technische Details des Laserscanners Rieg LMS Z210 [OSTENRIEDER 2003-4, 2]

Der Scanner ist auf einem Stativ montiert, erhält Strom aus einem ca. 1 kg schweren Akku (12V/7.2Ah, funktioniert aber auch mit jeder beliebigen Autobatterie) und liefert die Daten direkt über ein Schnittstellenkabel an einen Laptop. Die Betriebsdauer des Systems wird normalerweise nur durch die Akkuleistungsfähigkeit des Scanners und Laptops begrenzt, die ca. drei bis vier Stunden beträgt. Damit ist das System überall einsetzbar und lässt sich auch von einer Person tragen, wobei sich über längere Strecken z.B. ein Handwagen zum Transport bewährt hat. Mit einem Gesamtgewicht von ca. 20kg lässt sich die komplette Ausrüstung auch im unwegsamen Gelände transportieren. Der ausgesendete Laserstrahl Klasse 1 ist für Menschen und Tiere ungefährlich.



Abbildung 13: Handwagen und Koffer zum Transport von Scanner, Stativ und Laptop

Die verwendete Software I-SiTE Studio 2.1 steuert den Scanner während des Aufnahmeprozesses, speichert die Daten, stellt sie unverzüglich auf dem Bildschirm dar und ermöglicht deren Analyse und Nachbearbeitung auf einer benutzerfreundlichen Windowsoberfläche. Filterfunktionen erlauben es, die Datenmenge eines Scans auf den Ausschnitt zu reduzieren, der für die Analyse des Zielobjektes von Bedeutung ist. Scans von verschiedenen Standorten können problemlos zusammengefügt werden.

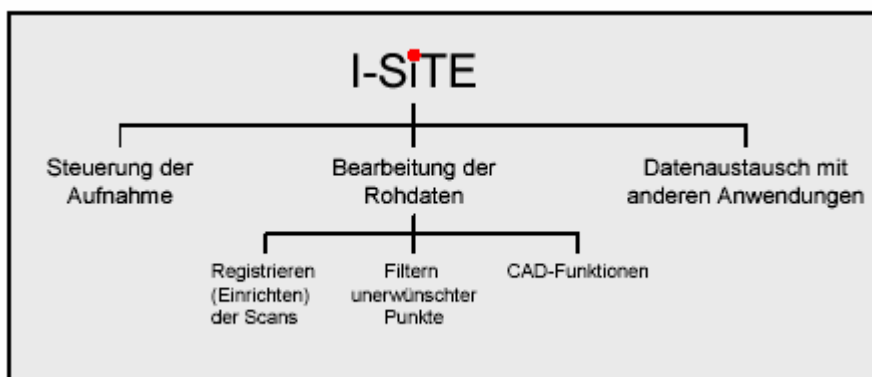


Abbildung 14: Anwendungsmöglichkeiten der I-SiTE Software [OSTENRIEDER 2003-2, 1]

Das Grundprinzip des terrestrischen Laserscannings ist das Abtasten der Oberfläche einer Landschaft oder von Landschaftselementen mit einem Laserstrahl, der sich vertikal in Linien auf und ab und der Scannerkopf gleichzeitig horizontal bewegt. Der permanent ausgesendete Laserstrahl wird über einen rotierenden Spiegel in vertikaler Richtung abgelenkt. Dadurch wird der reflektierte Laserstrahl im Gerät nicht als permanenter sondern quasi pulsierend empfangen. Es entsteht eine Punktwolke.

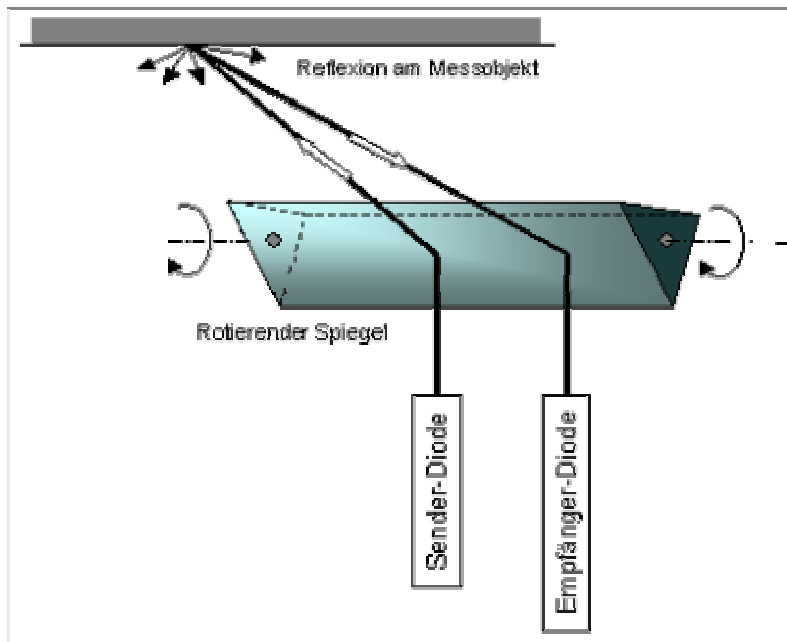


Abbildung 15: Vertikale Ablenkung des Laserstrahls mittels rotierenden Spiegels
[<http://www.ostenrieder.de>, 20.11.2003 2003]

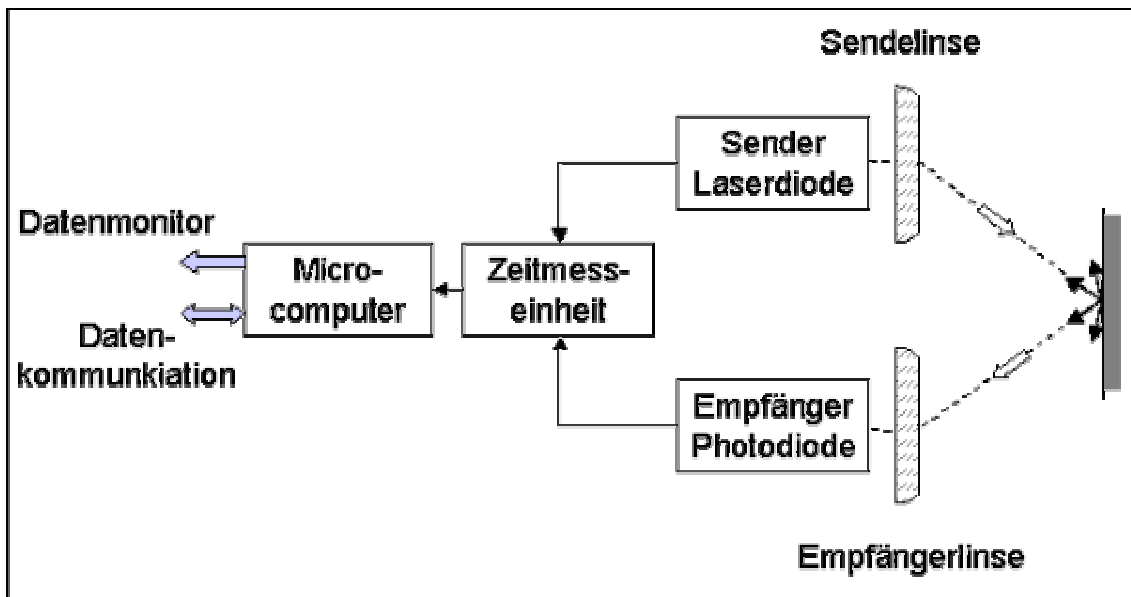


Abbildung 16: Umwandlung des Laserstrahlsignals in Daten [http://www.ostenrieder.de, 20.11.2003 2003]

Die maximale Reichweite des Scanners limitiert den Wirkungsbereich. Normalerweise sind mehrere Aufstellungen erforderlich, um den gewünschten Landschaftsauschnitt zu erfassen. Die einzelnen Aufnahmen werden dann mit Hilfe der bekannten (georeferenzierten) Aufstellungspositionen und Nullrichtung oder über Zielmarken zueinander positioniert.

Die Erfassung kann auch nachts erfolgen, allerdings dann ohne (korrekte) RGB-Werte (Farbwerte: Rot, Grün, Blau). Problematisch hingegen ist Niederschlag in allen Formen, da der Laserstrahl von Regen, Schnee, etc. reflektiert wird.

Datentechnisch wird eine dreidimensionale Punktwolke (x, y, z Koordinaten) erzeugt, die im proprietären Format der Software gespeichert wird. Es stehen die Datenformate ASCII, DXF sowie OBJ zum Export zur Verfügung.

Werden bekannte Aufstellungs- und Zielkoordinaten verwendet, z.B. durch Tachymetermessung oder Koordinatenbestimmung mit dem Global Positioning System (GPS), lässt sich die Punktwolke georeferenzieren [OSTENRIEDER 2003].

Informationen über die einzelnen Punktwolken und somit über die erfassten Daten können in I-SiTE Studio abgerufen werden.

Report for scan
/Punktwolken/Teile/Infrastruktur/Strassen+Wege/5'
Created on : 06-Jun-2003 11:58:28.00
Scanned by : Moritz Osterrieder
Scanner : Riegl/Z210 (Serial # : 9992978)
Software : I-SiTE (Version : 2.2 Beta)
Range measured in METRES
Scan dimensions [42 rows x 2003 columns] 84126 grid points
Number of points : 3097
Number of points visible : 2711
Scan origin located at E: 4421306.816 N: 5357289.918 RL:
485.770
pointing at bearing 260° 36' 31" and elevation 0° 42' 31"
Range from 38.121 to 126.854 (Mean 66.284)
Extent
Horizontal Angle : -94° 54' 59" to 119° 54' 27"
Vertical Angle : -3° 53' 30" to 0° 25' 33"
Contains raw colour
- Colour brightness from 0 to 110 (Mean 26)
Intensity from 147.0 to 1988.0 (Mean 1318.5)
Extent
X Range : 4421255.167 to 4421325.501
Y Range : 5357201.204 to 5357414.766
Z Range : 483.028 to 484.512

Abbildung 17: Informationen zu den erfassten Punktwolken

Eine Integration einer Punktwolke (oder eines Teils) von einer zeitlich späteren Erfassung desselben Geländeausschnitts ist kein Problem, wenn Aufstellungs- und Zielmarken gleich positioniert sind (z.B. durch Tachymetereinmessung).

In seiner Diplomarbeit hat Thomas Buhrow generelle Untersuchungen zur Genauigkeit des I-SiTE Systems angestellt. „Als Fazit aus den durchgeführten Untersuchungen zur Genauigkeit des I-SiTE 3D Laser Imaging Systems kann festgestellt werden, dass die vom Hersteller zugesicherte Genauigkeit in jedem Fall erreicht oder übertroffen wurde. Es ist Aufgabe des Anwenders, dann aufgrund seiner Kenntnisse über das Meßverfahren des Scanners und über die Eigenschaften des aufgenommenen Objektes die resultierende Genauigkeit des Vermessungsergebnisses abzuschätzen.

Das I-SiTE 3D Laser Imaging System dürfte im Hinblick auf die erreichbaren Genauigkeiten gut für seinen Haupt-Einsatzzweck in der Bergbauvermessung geeignet sein. Vor allem dann, wenn die Vermessung ausgedehnter Flächen erfolgen soll und keine punktförmigen Objektmerkmale erfasst werden müssen, sind mit dem System gute Ergebnisse erreichbar. Bei der Nutzung in weiteren Einsatzgebieten, wie zum Beispiel bei der Architekturvermessung, hängt es von den jeweiligen Genauigkeitsanforderungen und

der konkreten Objektstruktur ab, ob zufrieden stellende Resultate erzielt werden können.“ [BUHROW 2002, 70].

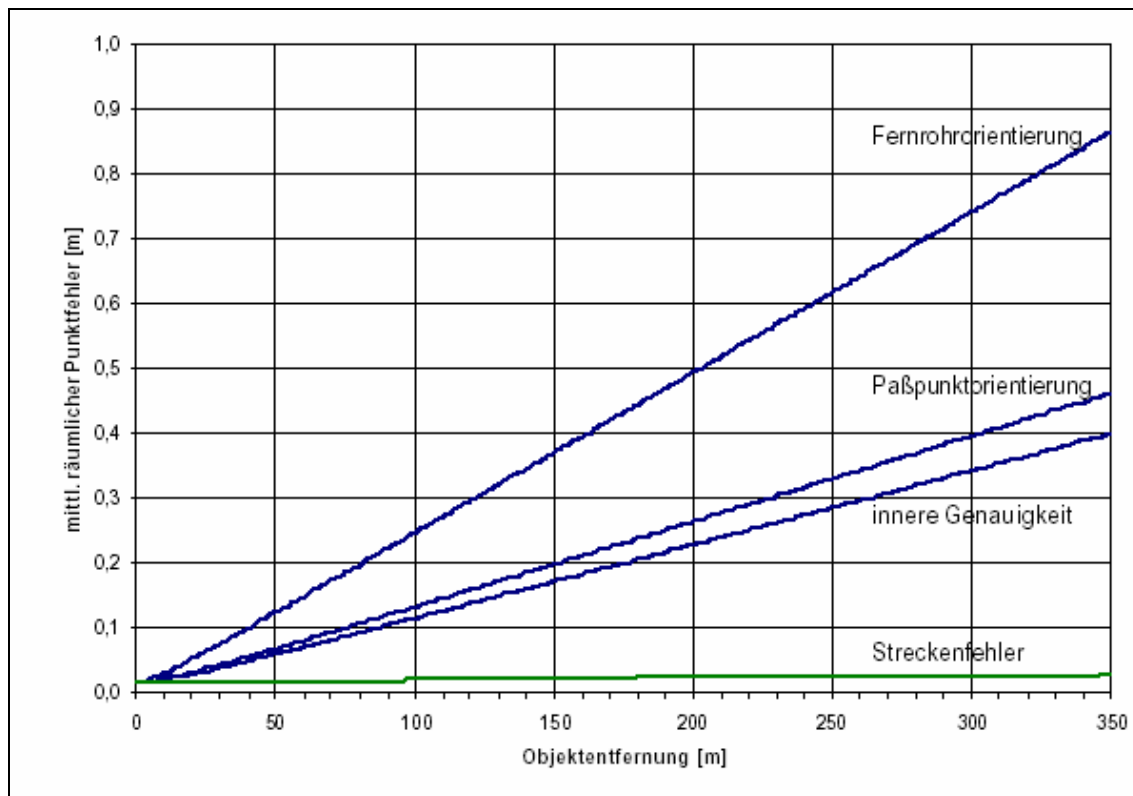


Abbildung 18: mittlerer räumlicher Punktfehler in Abhängigkeit von der Entfernung [BUHROW 2002]

4.1.2 Praktische Durchführung einer Erfassung

Bei der Erfassung einer Landschaft sind zunächst die Aufstellungspunkte des Scanners festzulegen. Danach wird deren Position in einem lokalen Koordinatensystem bestimmt. Nach dem Aufbau und Einrichten des Scanners beginnt die Messung, bei der die aufgenommenen Rohdaten sofort in die I-SiTE Software übertragen werden. Um ein 3-dimensionales Modell des Zielobjektes zu erzeugen, können die einzelnen Scans, die von verschiedenen Standpunkten aus aufgenommen wurden, zueinander orientiert werden. Dies erfolgt entweder durch die Eingabe bekannter Aufstellungs- und Zielkoordinaten oder die Aufnahmen werden anhand von eindeutigen Passpunkten justiert.

Nach einer kurzen Besichtigung des gesamten Geländes wurde festgelegt, welcher Geländeausschnitt erfasst werden soll. Es wurden sieben Aufstellungspunkte ausgewählt. Zwei Mitarbeiter des Stadtvermessungsamts Augsburg haben diese mit Hilfe eines Tachymeters und bekannten Vermessungspunkten bestimmt und anschließend in einer DXF-Datei digital zur Verfügung gestellt. Zur Registrierung der einzelnen Aufnahmen

werden je Aufnahme mindestens vier Reflektoren aufgestellt, die auch beim angrenzenden Scan sichtbar sind. Die Koordinaten, der im Gelände aufgestellten Reflektoren, werden nachträglich in I-SiTE Studio 2.1 bestimmt. Alternativ dazu kann die erste Aufnahme an einem Punkt mit bekannten Koordinaten beginnen und die weiteren Aufstellungspunkte werden über diesen bestimmt. Die Punkte können auch mit Hilfe von GPS bestimmt werden. Die gesamte Arbeitszeit vor Ort beträgt ca. vier Stunden. In der Nachbearbeitung werden die einzelnen Scans zueinander orientiert, was durchaus Erfahrung im Umgang mit der I-SiTE-Software verlangt. Die Reflektoren erzeugen in den Punktwolken Punkte mit sehr hoher Intensität und können dadurch sogar teilweise automatisch herausgefiltert werden. Mit den bestimmten Reflektorenpunkten und den importierten Aufstellungspunkten im DXF-Format des Stadtvermessungsamts, können jetzt mit der Multipoint Registration Funktion die einzelnen Punktwolken zueinander orientiert werden. I-SiTE Studio gibt in einen Bericht die Standardabweichung der zueinander registrierten Punktpaare an, die Aufschluss über die Qualität der Punkte gibt. Es ergibt sich eine zusammenhängende georeferenzierte Punktwolke.

[Menu](#) | [Daten/Modelle](#)

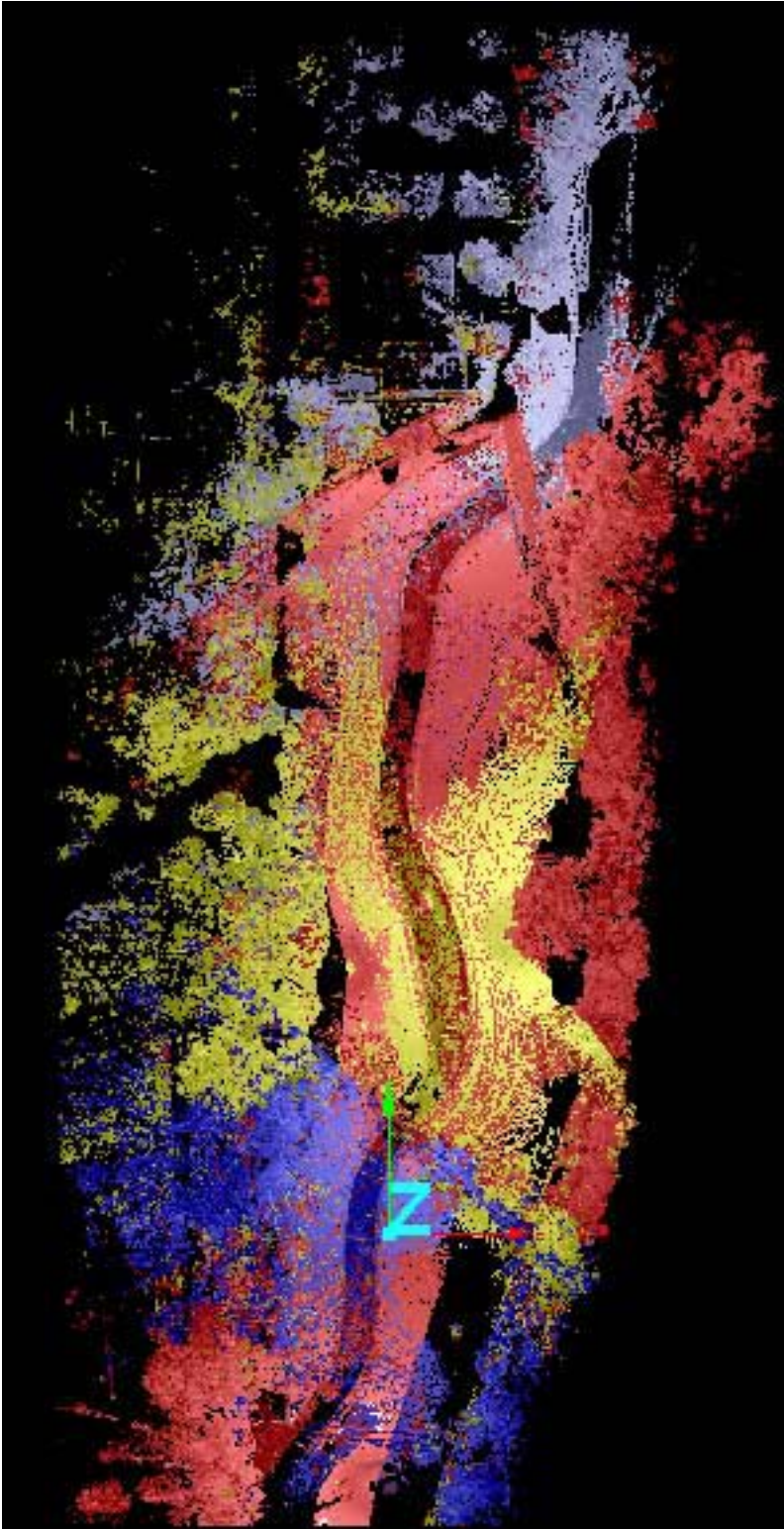


Abbildung 19: zusammenhängende georeferenzierte Punktwolke aus Einzelscans (repräsentiert durch Farben)



Abbildung 20: Ansicht auf die gesamte Punktwolke mit Punkten in Echtfarben in I-SiTE Studio

4.1.3 Möglichkeiten von I-SiTE Studio

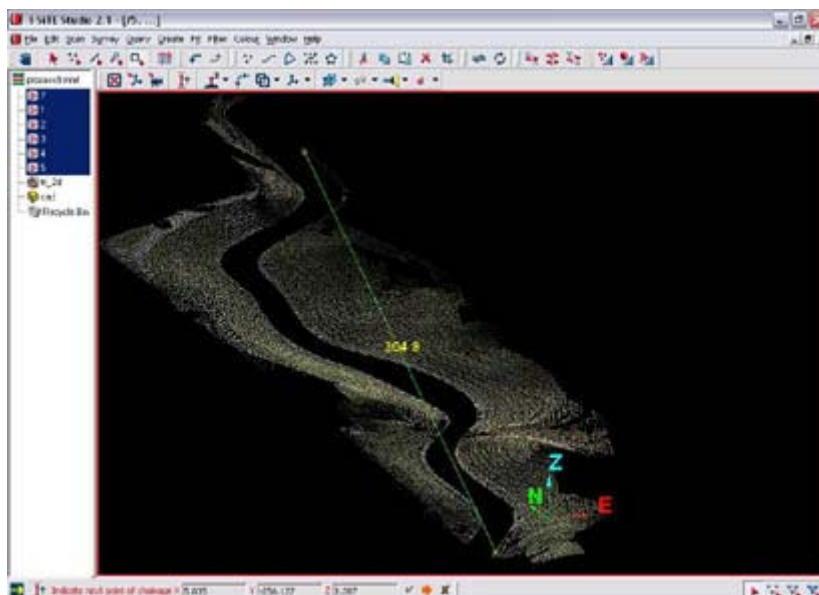


Abbildung 21: Oberfläche von I-SiTE Studio 2.1

Im Anschluss eine kurze Einsicht über die Möglichkeiten zur Bearbeitung und Auswertung der Punktwolke in I-SiTE Studio 2.1. Eine umfangreiche Aufstellung ist auf der beiliegenden CD-ROM unter Menüpunkt Dokumente zu finden.

- Interaktives rotieren, vergrößern und verschieben der Punktwolke
- Interaktive Erstellung von CAD-Elementen direkt in der 3D-Umgebung: Punkte, Linien, Polygone, Kreise, Kreisbögen und Rechtecke
- Gemeinsame Ansicht von CAD-Elementen oder anderen (importierten) Punktwolken
- Verschieben, Löschen und Einfügen einzelner Punkte in Punktwolke und CAD Elementen
- Erzeugung von 3D-Oberflächen
- Erzeugung von Höhenlinien aus Oberflächenvermaschungen
- Abfrage der Entfernung einzelner Punkte
- Informationen über einzelne/mehrere Punkte (z.B. Koordinaten)
- Darstellung der Scans in Echtfarbe oder einer Farbe
- Volumenberechnungen [OSTENRIEDER 2003-3, 1]

4.1.4 Andere Systeme

Der Markt für terrestrische Laserscanner und die dazugehörige Software verändert sich in den letzten Jahren sehr stark und schnell. Daher hier nur eine kurze Auflistung bekannter Hersteller und deren Internet Präsenz:

- Zoller+Fröhlich (www.zofre.de)
- Leica Geosystems (www.cyra.com)
- Mensi (www.mensi.com)
- Riegl (www.riegl.co.at)
- 3rdTech (www.3dtech.com)
- Callidus (www.callidus.de)
- iQsun (www.iqsun.com)
- Optech (www.ilris-3d.com)

Eine gute Marktübersicht mit einigen technischen Details der jeweiligen Geräte, wird regelmäßig aktualisiert und unter der Internetadresse <http://www-public.tu-bs.de:8080/~fkern/scanner/marktuebersicht.html> publiziert.

4.1.5 Alternativen

In diesem Abschnitt soll geklärt werden, ob These eins ohne Einwände gilt.

4.1.5.1 Photogrammetrie

Aus Luft- oder Satellitenbildern können durch Stereobildzuordnung digitale Oberflächenmodelle (DOM) oder, durch Nachbearbeitung, digitale Höhenmodelle (DHM, engl. DEM) erstellt werden. Aus dem erzeugten Modell können mit Hilfe von Software geometrische Formen extrahiert und Modelle erstellt werden. Diese Methode ist aufgrund des großen Abstands der Sensoren von den Geoobjekten eher für den kleinmaßstäbigeren Bereich geeignet. Zudem sind Befliegungen teuer und eine spontane Durchführung nicht immer möglich. Durch die Erfassung von oben, können Abschattungen entstehen, z.B. bei Brücken.

4.1.5.2 Airborne Laserscanning

Diese Methode ist im Prinzip dem terrestrischen Laserscanning gleich, nur hier wird das Gerät in einem Flugzeug oder Hubschrauber transportiert. Die Auflösung liegt üblicherweise im Bereich 1mx1m, kann aber auch darüber liegen. Auch hier ergeben sich durch die Messposition abgeschattete Bereiche. Der Scanner kann die Geoobjekte nicht vollständig erfassen. Auch hier ist anzumerken, dass Befliegungen teuer und nicht immer spontan durchführbar sind.

4.1.5.3 Geodätische Messungen

Die klassische Vermessung, z.B. mit einem Tachymeter, erfordert das sehr zeit- und personalintensive Sammeln vieler Punkte. Ein Laserscanner erfasst viele Millionen Punkte in wenigen Stunden. Ein Vermesser in der gleichen Zeit wahrscheinlich nicht mal Hundert. Allerdings erfasst der Vermesser nicht „blind“, sondern nur exponierte Punkte. Diesen Vorteil kann er aber bei Geländeoberflächen nicht ausspielen, das es in diesem Fall nur um das Sammeln möglichst vieler Punkte geht.

Archivierte Daten von Architekturbüros, Vermessungsbüros, Vermessungsämtern, etc. enthalten zumeist nur Bauwerke, Häuser und Strassen. Vegetation und Geländeoberflä-

chen werden selten komplett erfasst. Die Datenbestände sind teilweise stark veraltet und i.d.R. zweidimensional. Nur an einzelnen Punkten sind Höhenangaben gespeichert. Vegetation, z.B. Bäume, ist in vereinzelt Fällen in Landschaftsarchitekturbüros archiviert, aber diese verändert sich sehr schnell und spiegelt nicht immer den aktuellen Stand vor Ort wieder.

4.1.5.4 Nahbereichsphotogrammetrie

Aus (zunehmend digitalen) Fotos werden mit Hilfe von Software Bilder zueinander orientiert und in einer Photodatenbank abgelegt. Der Durchführung der Aufnahmen wird begleitet von geodätischen Messungen, um Bezug zu einem Koordinatensystem zu erhalten. Die Datenbank ermöglicht die 3D-Messung in den Bildern. Anschließend können Geometrien der Objekte bestimmt und die CAD-Modellierung durchgeführt werden. Eine Attributierung der Daten ist möglich. Die Aufnahme und Erstellung der Photodatenbank verursachen nicht die Kosten, sondern die 3D-Auswertung und die Modellierung.

Grundsätzlich sollten die beiden Verfahren, Photogrammetrie und Laserscanning, nicht als konkurrierende, sondern eher als ergänzende Möglichkeiten der Aufnahmen von komplexen Geometrien gesehen werden [WOYTOWICZ 2002, 30].

Trotzdem hat das terrestrische Laserscanning den Vorteil, dass es viele Punkte in kurzer Zeit erfasst. In der Nahbereichsphotogrammetrie müssen Punkte personal- und zeitintensiv mit der Software aus den Modellen extrahiert werden.

4.1.5.5 Bestehende Daten

Das United States Geological Survey (USGS) stellt ein weltweit flächendeckendes kostenloses digitales Geländemodell mit der Bezeichnung GTOPO30 zur Verfügung. Die Auflösung beträgt ca. 900mx900m und ist damit für eine großmaßstäbige Abbildung absolut unbrauchbar. Auch ähnliche Produkte erreichen keine akzeptable Auflösung.

4.1.5.6 Generierung aus 2D-Daten

Eine Ableitung aus traditionellen kartographischen Produkten durch digitalisieren von Punkten, Linien, Polygonzügen und Höhenlinien, etc. z.B. mit einem Digitalisierbrett ist

möglich. Die Fehlerrate bei Digitalisierarbeiten ist hoch, das verwendete Kartenmaterial nicht immer aktuell, Höhenlinien werden meist nur in 100m-Schritten angegeben und teilweise multiplizieren sich Fehler bei der Übertragung.

Auch eine Generierung von 3D-Daten aus 2D-Daten z.B. durch Extrusion von Gebäuden aus der Stockwerksanzahl ist möglich. Der Abstrahierungsgrad sog. 2,5D-Modelle ist sehr hoch, Gebäudeeigenheiten, wie Fenster, Dachform, etc. können nicht berücksichtigt werden.

Unregelmäßige Geländeoberflächen lassen sich auf diese Weise nicht realitätsnah darstellen.

4.1.5.7 GPS-Daten

Eine Begehung des Geländes mit GPS-Geräten zur Bestimmung dreidimensionaler Punkte ist sehr zeit- und personalaufwändig, die Umrisse von Vegetation und Bauwerke können in der Regel nicht erfasst, unwegsame Orte können schwer bestimmt werden. Die Genauigkeit der Methode liegt im Meter- bis Submeterbereich, bei Verwendung professioneller Methoden im akzeptablen cm-Bereich.

4.1.5.8 Skizzen

Eine Begehung vor Ort und gleichzeitige Anfertigung von analogen Skizzen, die anschließend digitalisiert werden, oder Skizzen die sofort digital angefertigt werden, z.B. mit dem Programm SketchUp, sind sehr ungenau. Aber sie sind eine schnelle und kostengünstige Methode weniger komplexe Elemente zu generieren.

4.2 Erfassungsobjekte

Nachfolgend wird aufgezeigt, welche Geoobjekte in dieser Arbeit mit einem terrestrischen Laserscanner erfasst und visualisiert werden können.

Wie bei allen Erfassungsmethoden wird nur der Teil eines Geoobjekts erfasst, der vom Standpunkt des Scanners aus sichtbar ist. Der verdeckte Teil bleibt dem erfassenden Laserstrahl verborgen. Abhilfe schaffen nur mehrere Aufstellungen mit dem Laserscanner rund um das Geoobjekt. Um einen viereckigen auf dem Boden stehenden Quader komplett zu erfassen, muss er demzufolge von vier unterschiedlichen Positionen aufge-

nommen werden. Das ist allerdings noch abhängig von der Größe des Objekts, d.h. bei Objekten, die höher als der Scanner sind, muss zusätzlich noch von oben gescannt werden. Das ist im Gelände ohne entsprechende Hilfsmittel nicht möglich.

Im behandelten Fallbeispiel wird nicht darauf Wert gelegt, alle Geoobjekte komplett zu erfassen. Der Nutzer soll lediglich von jedem Standpunkt innerhalb des Raumausschnitts einen dreidimensionalen Eindruck haben. Ein Überschreiten der Grenze des Modells darf ihm technisch nicht erlaubt werden. Mit dieser Einschränkung wird das Datenvolumen reduziert (siehe Kapitel 4.4).

Nachfolgend werden die differenzierten Geoobjekte aufgezählt, die im Fallbeispiel erfasst werden können.

4.2.1 Geländeoberfläche

Erfasst werden kann die gesamte Oberflächenform des Geländes (Relief), einschließlich der tribünenartigen Holzstufen und der Betonkanten des Kanalrands. Sämtliche Vegetation und Elemente der Infrastruktur werden dazu in I-SiTE Studio 2.1 aus der ursprünglichen Punktwolke gelöscht. Dadurch soll nur die Geländeoberfläche übrig bleiben. Das Gelände wird noch in orographisch rechte und linke Hälfte geteilt, um noch mal effizienter Punkte aus der Punktwolke herausfiltern zu können. Dazu wird der „Topography“-Filter angewandt.

4.2.2 Vegetation

In I-SiTE Studio 2.1 werden wieder einzelne Punkte gelöscht, um aus der ursprünglichen Punktwolke nur die Vegetation übrig zu lassen. Alle Bäume werden zusammen als Einheit und jeder Baum einzeln gespeichert. Nebeneinander stehende Bäume werden so getrennt, dass jeder Baum optisch seine Form behält, auch wenn Punkte teilweise doppelt verwendet wurden. Sträucher werden als Einheit gespeichert. Kleinere Pflanzen wie Blumen kommen auf dem Gelände nicht vor, könnten aber ähnlich wie Sträucher behandelt werden.

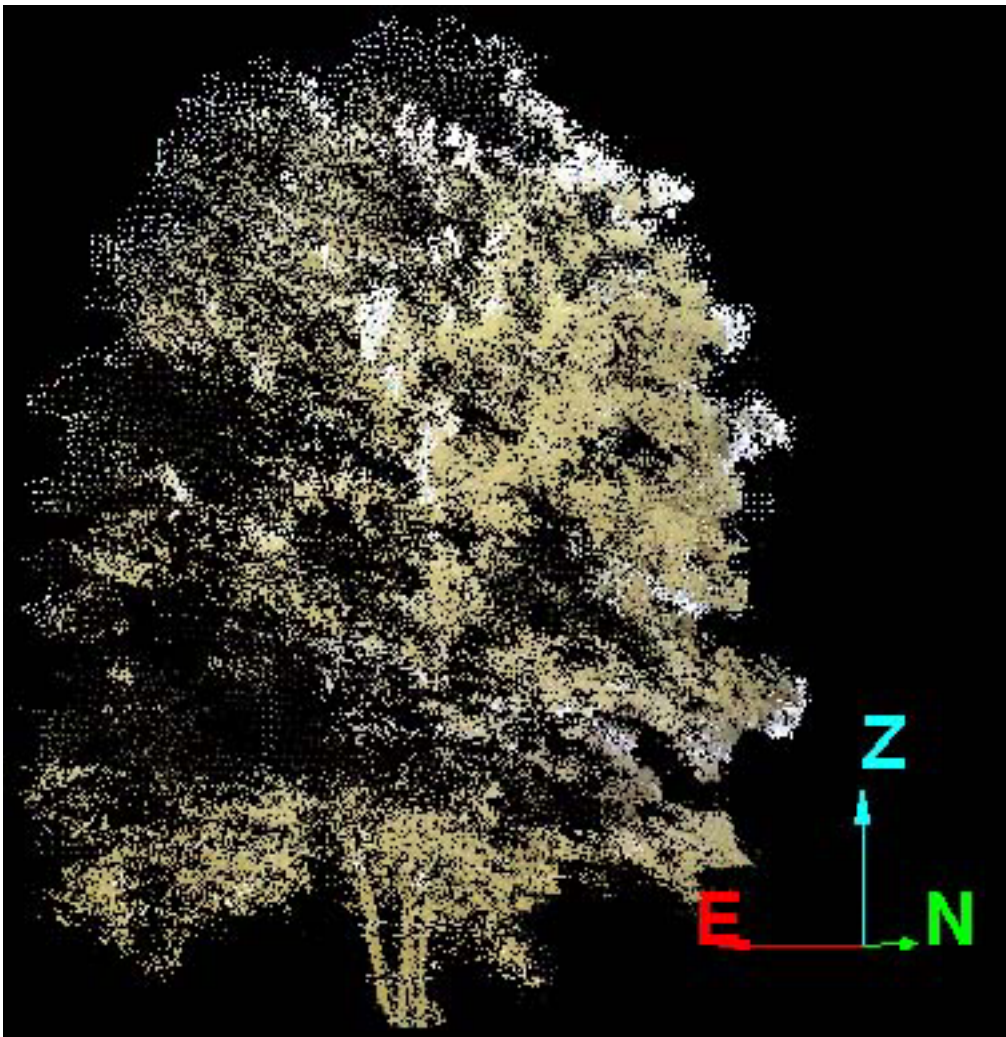


Abbildung 22: Punktwolke eines einzelnen Baums

[Menu](#) | [Daten/Modelle](#)

4.2.3 Wasser

Normalerweise können Wasseroberflächen nicht mit einem terrestrischen Laserscanner erfasst werden, da der Laserstrahl vom Wasser nicht reflektiert wird, sondern es durchdringt. Der künstliche Wildwasserkanal hat durch die Wellenbildung eine stark dynamische Oberfläche mit Schaumbildung (weißes Wasser). Dadurch wird der Laserstrahl teilweise reflektiert. Eine sinnvolle verwertbare Punktemenge ergibt sich dadurch aber nicht.

4.2.4 Infrastruktur

Die vorhandene Infrastruktur bestehend aus Strassen, Fußwegen, Brücken, Gebäuden, Geländern, Fahnenmasten, Straßenlampen und Parkbänken werden jeweils einzeln gespeichert. Nicht ständig vorhandene Elemente wie stehende Autos oder Absperrbänder werden aus der Punktwolke gelöscht. Dieses Vorgehen hängt von der jeweiligen Anforderung an die Visualisierung ab. Theoretisch werden sogar Stromleitungen und dünne Absperrbänder erfasst.

4.2.5 Lebewesen

Menschen können problemlos erfasst werden, solange sie sich für den Moment der Aufnahme (wenige Sekunden) bewegungslos verhalten. Andernfalls werden nur „Striche“ in der Punktwolke auftauchen. Im Fallbeispiel sind keine Menschen erfasst worden.

4.2.6 Atmosphäre

Niederschlag in allen Varianten (Regen, Schnee, Nebel etc.) werden von einem terrestrischen Laserscanner erfasst. Bei zu hoher Dichte des Niederschlags wird aber nur noch derselbige erfasst. Zu Wolken und Himmel ist die Entfernung zu groß. Diese Erscheinungen können also nur nachträglich virtuell eingefügt werden (z.B. mit der Software 3ds max). Im Fallbeispiel ist dieser Bereich nicht berücksichtigt. Eine Aufnahme bei Niederschlag ist allerdings fraglich, da dadurch der eigentliche „Hintergrund“ größtenteils verloren geht.

4.2.7 Virtuelle Objekte

Der Vorteil digitaler Modelle ist es, dass Elemente eingebracht werden können, die in der Realität nicht mehr, noch nicht oder nie existieren werden, also im eigentlichen Sinne gar keine Geoobjekte sind, sondern nur virtuell bestehen. Beispielsweise von Architekten geplante Brücken, die in eine bestehende Landschaft zu integrieren sind, die Reaktivierung eines brachliegenden Tagesbaus zu einem geplanten Naherholungsgebiet oder die Ergänzung fehlender Elemente einer Ruine zum ursprünglichen Aussehen.

4.2.8 Synthese

Ziel dieser Arbeit ist es aber nicht jedes Geoobjekt einzeln in einem gesonderten Modell darzustellen, sondern die Gesamtheit aller Objekte in einem Modell zu visualisieren. In der Software I-SiTE Studio 2.1 unterliegen alle Punkte dem gleichen Koordinatensystem (evtl. georeferenziert), auch wenn sie in getrennten Dateien gespeichert sind. Werden einzelne Komponenten aus I-SiTE Studio 2.1 exportiert, so ist das Zusammenführen in einer Bearbeitungssoftware kein Problem.

4.3 Daten

Grundsätzlich können drei Arten von Geodaten unterschieden werden: Raster-, Vektor- und Sachdaten.

Rasterdaten sind Bilddaten, die durch einzelne Punkte in einem zumeist rechtwinkligen Raster angeordnet sind. Jeder Punkt repräsentiert einen rechteckigen Bereich und hat bestimmte Eigenschaften, wie z.B. Farbe oder Helligkeit. Im Bereich der Bilddaten gibt es bereits mehrere standardisierte Formate, wie z.B. Joint Photographic Experts Group (JPEG), Graphics Interchange Format (GIF) und Portable Network Graphics (PNG). Bei der interaktiven Visualisierung werden Rasterdaten primär für die Darstellung von Oberflächen und Materialien (Texturen siehe Kapitel 5.1.3) verwendet. In der Praxis bedeutet dies, dass auf durch die durch Vektordaten beschriebene Geometrie Bilddaten projiziert werden, um so der reinen Geometrie ein realistisches Erscheinungsbild zu geben [SCHAUPPENLEHNER 2002, 11]. Mit einem terrestrischen Laserscanner werden keine Bilder aufgenommen, lediglich die einzelnen Punkte besitzen RGB-Werte. Die Software I-SiTE Studio 2.1 bietet aber keine Möglichkeit Bilddaten zu exportieren. Vektordaten sind dagegen auflösungsunabhängige, mathematisch beschreibbare, geometrische Objekte mit Elementen wie z.B. Punkte, Linien, Kreise oder Polygone [RECHENBERG 2002, 835] und beschreiben in virtuellen Umgebungen die dreidimensionale Geometrie. Alle diese Geometrien können in I-SiTE Studio 2.1 erstellt und exportiert werden.

Sachdaten sind zusätzliche Informationen, die über die reine topografische Darstellung hinausgehen. Diese Sach- oder Attributdaten beinhalten beispielsweise Informationen über statistische Auswertungen oder nur Informationen zum Objekt. Laserscanner-Daten aus dem I-SiTE-System bestehen aus einzelnen Punkten, die durch dreidimensio-

nale Koordinaten, Farbwerten und der Intensität des einzelnen Punktes spezifiziert werden. Sachdaten werden durch den Scanner nicht erfasst. In der I-SiTE-Software ist eine Attributisierung (Zuweisung von Sachdaten zu Geometriedaten) von Daten nicht vorgesehen.

Unabhängig von der Datenart gibt es sehr viele Datenformate zum speichern von Daten. Fast jeder Software Hersteller kreiert sein eigenes proprietäres Datenformat, davon ist auch die GIS-, CAD und 3D-Welt nicht ausgenommen. Einige Datenformate haben sich zum Quasi-Standard entwickelt (z.B. DXF von Autodesk), sind aber trotzdem abhängig von den Entwicklungen der jeweiligen Hersteller. Einem Datenaustausch zwischen unterschiedlicher Software geht somit immer eine Datenkonvertierung voraus. Abgesehen von einem zusätzlichen Arbeitsschritt, können bei einer Konvertierung Daten verloren gehen, es fehlt schlicht ein Datenkonverter oder die Daten liegen anschließend redundant vor.

4.3.1 Datei-basierte Speicherung

Unter Datei-basierter Speicherung wird eine Speicherung der Daten in einer oder mehreren Dateien verstanden.

4.3.1.1 Proprietäre Formate

Wie oben bereits erwähnt, kreiert jede Softwarefirma ihr eigenes Datenformat und wehrt meist den Zugang zu diesem. Vorwiegend sind das binäre Datenformate, die zwar effizient arbeiten, aber den Austausch von Daten zwischen Anwendungen erschweren oder sogar unmöglich machen. Gerade Geodaten stammen zumeist aus unterschiedlichen Quellen und ein Mehrwert entsteht erst durch deren Zusammenführung.

4.3.1.2 Offene Standards

Abhilfe kann über standardisierte Datenformate geschaffen werden. Deren unbestrittene Vorteile sind Interoperabilität, Lizenzfreiheit und Plattformunabhängigkeit.

4.3.1.2.1 World Wide Web Consortium

Aufgabe des World Wide Web Consortium (W3C) ist es, dass Web (neben z.B. electronic mail Teil des Internets) zu seiner vollen Entfaltung zu führen. Dazu werden Technologien entwickelt (Spezifikationen, Richtlinien, Software und Software Tools), die wiederum ein Forum für Informationen, wirtschaftliche Betätigung, Inspirationen, unabhängige Gedanken und kollektives Verständnis schaffen. Das Konsortium hat sich sieben übergeordnete Ziele gesetzt: universelle Zugangsmöglichkeiten, das semantische Web, Vertrauen, Interoperabilität, Entwicklungsfähigkeit, Dezentralisierung und attraktiveres Multimedia [W3C.org, <http://www.w3.org/Consortium/Offices/Germany/sieben.html>, 17.10.2003].

In Hinsicht auf die in Entwicklung stehenden Geodateninfrastrukturen sowohl auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene, zeichnet sich ab, dass in Zukunft XML-basierende Daten am Besten für den Austausch zwischen Anwendern und Anwendungen geeignet sind.

4.3.1.2.2 Web3D Consortium und X3D Graphics Working Group

Das Web3D Konsortium ist eine Untereinheit des W3C. "The Web3D Consortium was formed to provide a forum for the creation of open standards for Web3D specifications, and to accelerate the worldwide demand for products based on these standards through the sponsorship of market and user education programs. Web3D applications have been actively pursued by many organizations for quite some time. This community has spearheaded the development of the VRML 1.0 and 2.0 specifications, which provide the basis for the development of associated applications. The organizations involved in this effort felt that the creation of an open consortium focused exclusively on Web3D would provide the structure necessary to stabilize, standardize, and nurture the technology for the entire community." [Web3D, <http://www.web3d.org>, 1.10.2003].

Innerhalb des Web3D Konsortiums gibt es verschiedene Arbeitsgruppen, u.a. die X3D Graphics Working Group. "The X3D Graphics Working Group is designing and implementing the next-generation Extensible 3D (X3D) Graphics specification. We are extending and upgrading the geometry and behavior capabilities of the Virtual Reality Modeling Language (VRML 97) using the Extensible Markup Language (XML)" [Web3D, <http://www.web3d.org>, 1.10.2003].

4.3.1.2.3 Open GIS Consortium

Auch Geodaten unterliegen diesen Uneinheitlichkeiten. In technischer Hinsicht stellt das für viele Anwender ein Problem dar. Geodaten müssen homogen und über interoperable Schnittstellen für jeden zugänglich sein.

Hierfür entwickelt das Open GIS Consortium (OGC) Spezifikationen, Standards und gemeinsame Schnittstellen, die eine solche Einheitlichkeit gewährleisten und dadurch die Nutzung von Geodaten für einen größeren Anwenderbereich interessant gestalten. Das Open GIS Consortium (Europe) Limited (OGC Europe) als europäische Vertretung des OGC hilft Organisationen in Europa bei der Abwicklung, Steuerung und Kontrolle von Projekten, in denen Interoperabilität im Mittelpunkt steht oder eine unabdingbare Anforderung in Übereinstimmung mit INSPIRE (EU-Projekt) darstellt. Dazu gehören Dienstleistungen, die vom Softwaredesign auf Basis der OpenGIS Spezifikationen bis hin zur Planung im Vorfeld der Beschaffung reichen. Einen weiteren Schwerpunkt setzt OGC Europe auf die Unterstützung von europäischen Programmen, die sich mit der Förderung von interoperablen Systemen befassen [CeGI 2003].

4.3.1.2.4 American standard code for information interchange

American standard code for information interchange (ASCII) ist eigentlich ein Zeichensatz, auf 84 Zeichen beschränkt, international normiert und rein textbasiert. Das ASCII-Format hat keine Ordnungsstruktur, seine Elemente werden üblicherweise durch Kommas oder Leerzeichen und Zeilenumbrüche getrennt.

4.3.1.2.5 Virtual Reality Markup Language

Die Virtual Reality Markup Language (VRML, häufig ‚wörmel‘ gesprochen) ist ein Dateiformat zur Beschreibung von interaktiven 3D-Welten und –Objekten. Benutzt wird VRML um entweder auf lokaler Ebene oder im World Wide Web (WWW) dreidimensionale Repräsentationen von komplexen Szenarien zu erschaffen. Neben der Einbindung von Hyperlinks zu anderen Medien wie Sound und Video ist die Darstellung von statischen und animierten Objekten möglich. Unter Berücksichtigung dieser Zeitkomponente kann man bei VRML von einer 3D/4D Sprache ausgehen. Darüber hinaus ent-

hält VRML eine Schnittstelle zu den Programmiersprachen Java und Javascript. Somit ist es nicht nur möglich interaktive 3D Repräsentationen zu schaffen, sondern eine plattformunabhängige Programmiersprache und Netzwerkzugriffe zu nutzen. Im September 1997 wurde die VRML 2.0 Spezifikation unter dem Namen VRML97 als International Standard akzeptiert und ist somit weltweit anerkannter und von Seiten der Industrie akzeptierter Standard und eine verlässliche Basis für Entwicklungen aller Art. Um auf einem System VRML nutzen zu können, benötigt man einen VRML-Browser. Dabei gibt es zwei Arten von Browsern. Die einen benötigen einen WWW-Browser und ein Plugin, andere arbeiten als Standalone-Anwendung.

In VRML wird die Konstellation von 3D-Objekten als Szene bezeichnet. Aufgrund des objektorientierten Ansatzes besteht ein VRML Dokument aus einer Liste von Objekten, die hier als Knoten (Nodes) bezeichnet werden. Diese lassen sich in zwei grundlegende Kategorien unterteilen: Gruppenknoten (grouping nodes) und Kindknoten (children nodes). Die daraus entstehende hierarchische Struktur der Knoten wird als Scene Graph bezeichnet. In einer VRML-Datei gibt es genau einen Scene Graph. In VRML stehen verschiedene vordefinierte Knoten zur Verfügung. Diese erlauben, vorgegebene Basisobjekte beim Erstellen einer VRML-Szene einzusetzen und diese gegebenenfalls zu beliebigen neuen Objekten zu kombinieren: Quader, Kegel, Zylinder, Kugel. Zusätzlich zur Kombination dieser vorgegebenen Basisobjekte können beliebige 3DGeometrien direkt definiert werden. Mit Hilfe spezieller Methoden lassen sich Objekte punktweise beschreiben, automatisch komplexe, geschwungene oder landschaftsähnliche Körper erzeugen oder dreidimensionale Textpassagen in der virtuellen Umgebung integrieren.

4.3.1.2.6 Extensible Markup Language

Die Extensible Markup Language (XML) wurde 1998 veröffentlicht und geht wie die Hypertext Markup Language (HTML) aus der Standard Generalized Markup Language (SGML) hervor. XML ist eine Meta-Auszeichnungssprache zur Beschreibung strukturierter Daten. Der besondere Vorteil des Ansatzes besteht dabei darin, dass diese Meta-Sprache auf verschiedenen Betriebssystemplattformen und in verschiedenen Anwendungen eingesetzt werden kann. Die Daten werden unabhängig von ihrer Darstellung abgespeichert. Im Unterschied zu HTML besitzt XML keine fest vorgegeben Befehle (Tags). Bei XML werden Tags frei definiert, mit denen dann reine Text-Daten (ASCII-

Daten) strukturiert werden. Die Tags haben keinen Einfluss auf die Darstellung des Inhalts. Somit ist die Trennung von Daten und Darstellung gegeben, was die universelle Verwendbarkeit von XML ausmacht. Die Tag-Definitionen werden üblicherweise in der Document Type Definition (DTD) abgelegt.

Im Zusammenhang mit Visualisierungen sind v.a. folgende XML-Dialekte nützlich:

- Scalable Vector Graphics (SVG) ist ein zweidimensionales Grafikformat, das im April 2002 in der Version 1.1 vom W3C als offizieller Standard festgelegt wurde und gut aus Datenbanken und GIS heraus generierbar. Das Einbetten von Meta- und Attributdaten ist möglich. Die Darstellung erfolgt in einem Browser mit Viewer.
- Extensible 3D (X3D) wird mit großer Wahrscheinlichkeit der Nachfolger von VRML, basiert auf XML und nutzt die Funktionen von VRML. Die Darstellung erfolgt ebenso in einem Browser ohne Plugin.

4.3.1.2.7 Extensible Stylesheet Language for Transformations

XSLT, die Extensible Stylesheet Language for Transformations, ist eine offizielle Empfehlung des W3C. Sie bietet eine flexible, leistungsfähige Sprache, mit der sich XML-Dokumente in etwas anderes umwandeln lassen. Dieses andere kann ein HTML, ein weiteres XML-Dokument, eine PDF-, SVG-, VRML-, JPEG-, X3D-Datei, Java-Code, eine einfache Textdatei oder ein anderes beliebiges Format sein. Im XSLT-Stylesheet werden die Regeln für die Umwandlung festgelegt, der XSLT-Prozessor (Software) erledigt den Rest.

Mit Hilfe von XSLT lassen sich X3D-Dateien z.B. in VRML- oder HTML-Dateien umwandeln. Dazu gibt es die Dateien „X3dToVrml97.xml“ und „X3dToHtml.xml“ [TIDWELL 2002, 1].

Die Verwendung von XSLT-Stylesheets ist z.B. in der Anwendung X3D-Edit möglich.

4.3.2 Datenbank-basierte Speicherung

Viele Jahre haben eigene GIS Dateiformate die Szene beherrscht. Im Falle von ESRI waren dies z.B. Shapefiles, Coverages, GRIDs, TINs, CAD-Dateien und zahlreiche Rasterformate. Zudem waren die marktgängigen RDBM-Systeme weder in der Lage, die relativ komplexen Geodatenstrukturen abzubilden, noch verfügten sie über angepasste Funktionalität, um raumbezogene Abfragen durchzuführen. Diese Entwicklung

wird sich beschleunigen und schließlich wird Geodatenhaltung in einer Datenbank der Standard sein [ESRI Deutschland GmbH, <http://www.esri-germany.de/products/arcscde/index.html>, 16.10.2003].

Eine Überführung der Daten aus dem I-SiTE-System in ein Datenbanksystem ist möglich. Zum Beispiel können geordnete Koordinatenpaare im ASCII-Format in eine Datei exportiert werden. Diese Datei kann anschließend in eine Datenbank eingelesen werden.

4.4 Datenreduktion

Grundsätzlich soll alles visualisiert werden, was das menschliche Auge wahrnehmen kann. Der Laserstrahl des terrestrischen Laserscanners erfasst wahllos viele Millionen Punkte der Oberfläche in seinem Sichtfeld. Viele Punkte bedeuten aber ein hohes Datenvolumen und widersprechen damit These vier. Das ist wiederum hinderlich für eine Übertragung eines digitalen Modells über das Internet (These fünf). Nachfolgend werden einige Techniken aufgezählt, wie das Datenvolumen reduziert werden kann.

4.4.1 Mit I-SiTE Studio

Einige Punkte aus der originalen Punktwolke sind für eine Visualisierung sinnlos und müssen von Hand nachträglich entfernt werden: z.B. sog. Geisterpunkte, entstanden durch Vögel oder Bienen.

Die Punktedichte der Punktwolke ist i.d.R. sehr hoch (je nach Entfernung vom Aufstellungspunkt, von wenigen bis zu mehreren Zentimetern). Zur Reduktion reicht meist jedoch eine geringere Auflösung. Das kann z.B. mit der Filterfunktion „Minimum Separation“ erreicht werden: hier wird der minimale Punkteabstand nach Belieben eingestellt.

Die Filterfunktion „Topography“ glättet Oberflächen, indem in einem definierten Umkreis alle höher liegenden Punkte herausgefiltert werden. Das hilft z.B. eine „rauhe“ Rasenfläche zu glätten. Der optische Eindruck einer Rasenfläche kann dann durch eine Textur ausgeglichen werden. Wie viel eine solche Reduzierung an Datenvolumen einspart, ist in Abbildung 45 aufgezeigt.

Weiterhin kann die Punktedichte an Stellen reduziert werden, an denen keine wesentlichen Änderungen der Oberfläche geschehen. Z.B. können ebene Flächen durch wesentlich weniger Punkte repräsentiert werden als Bruchkanten.

4.4.2 Adaptive Datenverarbeitung

Ein wesentliches Konzept zur Reduktion großer graphischer Datenmengen besteht in der adaptiven Datenverarbeitung. Dabei wird lediglich eine Teilmenge der vorhandenen Daten verarbeitet und diese Teilmenge dynamisch an neue Situationen, wie z.B. Beobachterposition, angepasst. Die Bestimmung der optimalen Teilmenge geschieht anhand eines festgelegten Kriteriums. Ein wichtiges Kriterium basiert auf der Position des Betrachters in einer dreidimensionalen Computergraphikszene.

Anhand dieses Kriteriums können verschiedene Level-of-Detail (LOD) definiert werden, welche von der Entfernung der Daten zur Position des Betrachters abhängen. So kann für Daten, welche sich im Hintergrund und damit weit entfernt vom Betrachter befinden, eine niedrige Detailstufe verwendet werden. Durch die perspektivische Verkürzung wird in diesem Fall keine hohe Detailinformation benötigt. Daten, welche im Vordergrund liegen, benötigen dagegen eine hohe Detailstufe.

Multiresolution-Modelle besitzen Datenstrukturen, welche Beschreibungen solcher Detailstufen speichern können und die Operationen zum Konstruieren und Zusammensetzen verschiedener Stufen besitzen. Multiresolution-Modelle müssen zwei grundlegende Eigenschaften besitzen, um in der Computergraphik effizient eingesetzt werden zu können. Die Adaption der Detailstufen sollte in Echtzeit erfolgen.

Das Kriterium darf für die Steuerung der Adaption keine Heuristiken verwenden sondern muss auf exakten geometrischen Berechnungen basieren (z.B. Bildschirmauflösung) [SONDERSHAUS 2001, 1].

Mit diesen Methoden würde sich in Zusammenhang mit einer serverbasierten Speicherung der Daten eine Optimierung des Datenflusses über das Internet ergeben. Auf den Computer des Benutzers würden nur noch die Daten transportiert, die wirklich benötigt werden.

4.4.3 Abstraktionsgrad

Eine einfache Methode der Datenreduktion ist die Erhöhung des Abstraktionsgrades des Modells. Die Vereinfachung der Visualisierungselemente geht folglich zu Lasten des Realitätsgrades, ist aber meistens nicht zu umgehen, wenn ein akzeptables Datenvolumen erreicht werden soll.

4.4.4 Reduktion in VRML

Um die Dateigröße einer VRML-Welt zu optimieren sollte folgendes beachtet werden:

- kleine Textur-Maps und auch diese nur selten (Rasterbilder belegen meist mehr Platz als Geometriedaten).
- Eine vollständige Szene mit höchstens 5.000 bis 10.000 Polygonen können die meisten Computer verkraften.
- Verwendung von Grundkörpern. Eine Szene, die nur eine Kugel enthält, wird beispielsweise in eine VRML-Datei mit ungefähr 400 Byte exportiert. Wenn die Kugel in ein Netz verwandelt wird und ein Scheitelpunkt auf der Kugel verschoben wird, hat die VRML-Datei bereits eine Größe von ungefähr 7.400 Byte.
- Aufrufen einer VRML-Dateien von einer Standard-HTML-Seite aus, und Beschränkung des Fensterausschnitts der VRML-Datei mit dem Embed-Befehl. Damit wird die Anzahl der Pixel, die in jedem Frame gerendert werden müssen, verringert und die VRML-Umgebung reaktionsschneller.
- Mit Instanzen kann die Dateigröße bei Objekten mit der gleichen Geometrie reduziert werden [3DS MAX, Stichwort VRML].

4.4.5 GeoVRML

GeoVRML versucht Probleme, die VRML mit Geodaten hat, zu beheben: unterschiedliche Koordinatensysteme, Größe der Zahlenwerte bei Koordinaten, einheitliche Zeitzone, Geländedarstellung, Level-of-Detail, Auflösung und Genauigkeit, Datenaustausch. Dazu muss der Benutzer aber eine zusätzliche Laufzeitumgebung auf seinem Rechner installieren.

4.4.6 Low-Polygon-Modeling

Geringe Elementzahlen bedeuten eine effizientere Ausbeute hinsichtlich der Geschwindigkeit vor allem bei der Darstellung. Es wird versucht mit möglichst wenigen Informationen (Polygonen) eine möglichst hohe Qualität der Darstellung zu erreichen. Dies wird in der Regel durch eine geschickte Wahl der Materialien unterstützt. Allerdings

bedeutet dies auch eine ständige Gratwanderung zwischen Qualität der Darstellung und der geforderten Performance [MACH2003-3, 163].

5 Visualisierung

Unter Visualisierung soll hier die Vermittlung von Informationen in anschaulichen, lesbaren und funktionsgerechten Darstellungen verstanden werden.

5.1 Techniken

Eine zentrale Aufgabenstellung der Visualisierung ist die Wahl der richtigen Darstellungsart [DORAU 1997, 33]. Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung großmaßstäblicher Modelle. Nachfolgend wird nun erklärt, mit welchen Techniken realitätsnahe Visualisierungen computerunterstützt erstellt werden können.

5.1.1 Arten der 3D-Modelle

Ein Drahtmodell (engl. Wireframe) ist die skelettartige Beschreibung von 3D-Objekten, die aus Punkten und Linien bestehen. Das kann z.B. ein TIN (Triangulated Irregular Network) sein.

Ein Flächenmodell (Netz, engl. Mesh/Patch) ist ein mehrdimensionales Objekt, das über seine Oberfläche definiert und beschrieben wird. Diese bestehen aus n-eckigen, geschlossenen Polygonen.

Volumenmodelle (engl. Solid) bieten die Möglichkeit, Objekten auch Eigenschaften, wie z.B. Volumen mitzugeben. Geometrische Körper lassen sich durch Boolesche Operationen verschneiden oder ergänzen [MACH 2000, 42f.]. Einige geometrische Primitive sind z.B. Kugeln, Kegel oder Quader.

Drahtmodelle setzen sich hauptsächlich aus Rastergitter oder Netzen zusammen. Ein Rastergitter hat eine gleichmäßige und vordefinierte Weite, wobei jedem Rasterpunkt eine Höhe (z-Koordinate) zugewiesen wird, bei einem TIN wird jedem Punkt x-, y- und z-Koordinate zugewiesen.

Zur Flächenmodellierung stehen verschiedene Techniken zur Verfügung: Polygonale Modellierung, Bézier-Patch-Modellierung und NURBS-Modellierung (Non Uniform Rational B-Splines).

In der Polygonalen Modellierung setzen sich die Geometrien aus Flächen zusammen, die aus Drei- oder Vielecken unterschiedlicher Größe und Ausrichtung bestehen. Hän-

gen viele dieser Flächen zusammen, spricht man von einem Netz. Die Modifikation von Polygonnetzen ist sehr einfach. Der Detaillierungsgrad hängt von der Anzahl der Flächen ab.

In der Bézier-Patch-Modellierung definieren Bézierkurven als Randkurven die Patch-Oberflächen. Diese Technik eignet sich sehr gut zum Erstellen sanft gekrümmter Oberflächen und ermöglicht eine detaillierte Steuerung und Bearbeitung komplexer Geometrien.

NURBS sind mathematisch genau definierte Funktionen. Sie sind parametrisierte Kurven, die durch Bézier-Splines verbunden sind. Sie können unabhängig von der Auflösung hervorragende Ergebnisse liefern [MACH 2000, 54ff.].

5.1.2 Geländeoberflächen

Die Erstellung digitaler Geländemodelle (DGM) ist praktisch die Basis aller Geovisualisierungen. „Das Gelände einer Landschaft ist ein Kontinuum, weil es nur durch unendlich viele Punkte exakt beschrieben werden kann. Die digitale Modellierung ist also immer nur eine Annäherung an die Wirklichkeit.“ [SCHAUPPENLEHNER 2002, 33].

Zweidimensionale DGM enthalten lediglich die x und y-Koordinaten, die Höhe (z-Koordinate) ist z.B. in Form von Konturlinien oder Farbwerten in das Modell symbolisch eingezeichnet. Damit besteht praktisch kein Unterschied zu einer Karte oder Plan in der klassischen Form.

Ein sog. 2,5D-Modell basiert auf einem zweidimensionalen DGM, auf dem einzelne Geoobjekte extrudiert sind, beispielsweise Häuser oder Bäume.

Zur Erstellung eines echten dreidimensionalen DGM benötigt jeder Punkt der Oberfläche drei Koordinaten. Durch Kombination mit einem digitalen Höhenmodell (DHM, oder engl. DEM) entstehen aus 2D-Geodaten dreidimensionale Geodaten. Ein DHM enthält Höhenwerte in bestimmter Auflösung (z.B. 1mx1m). DHM können aus direkter Messung gewonnen werden, z.B. durch Flugzeuggetragene Laserscanner, Luftbilddauswertung oder aus Höhenschichtlinien, die aus bestehendem Kartenmaterial digitalisiert werden. Terrestrische Laserscanner können auch zur Erstellung eines DHM benutzt werden.

Es werden zwei Arten von Geländemodellen unterschieden: Raster-DGM und TIN. Ein Raster-DGM ist ein DHM und ein Rasterbild (z.B. 2D-Karte). Der Vorteil eines Raster-DGM besteht darin, dass der Aufbau der 3D-Daten über eine Matrix sehr schnell erfolgen

kann die Darstellung wenig Speicherplatz erfordert, da nicht für jeden Punkt alle Raumkoordinaten vorgehalten werden müssen. TIN haben gegenüber Raster-DGM den Vorteil, dass sie Bruchkanten im Gelände darstellen können [MACH 2003-2, 111], was für großmaßstäbige Geländeoberflächen mit starkem Relief sehr wichtig ist.

Mit der Erfassungsmethode des terrestrischen Laserscannings erhält jeder Punkt bereits x-, y- und z-Koordinate, und somit kann die Punktwolke direkt zum TIN vermascht werden.

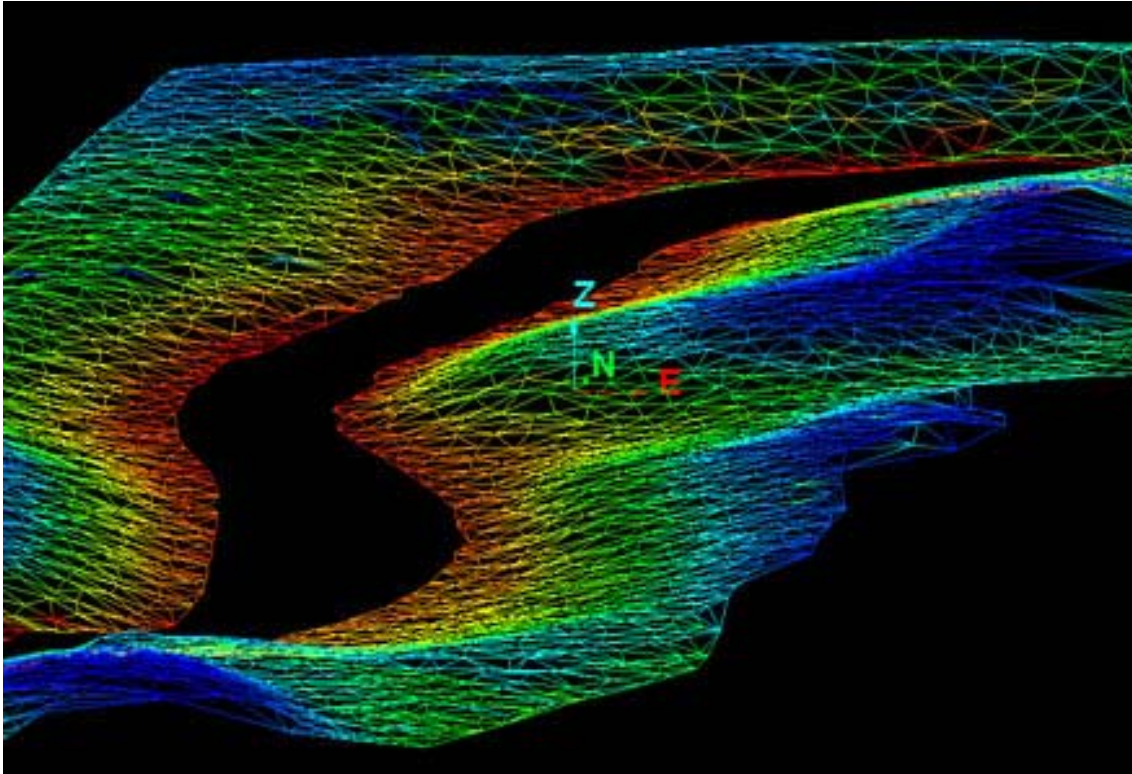


Abbildung 23: TIN der Geländeoberfläche des Fallbeispiels mit farbigen Höhenstufen in I-SiTE Studio

5.1.3 Texturen

Unter einer Textur versteht man die Oberflächenbeschaffenheit eines Objekts. Die Belegung mit dem richtigen Material entscheidet maßgeblich über die Qualität der Darstellung. Maps sind die Bilder die benötigt werden, um dem Material die gewünschte Beschaffenheit zu verleihen (z.B. Baumrinde, Wiese). Bitmaps werden häufig eingesetzt, um naturnahe Oberflächen zu erstellen, während Prozedur-Maps aus mathematischen Algorithmen generiert werden [MACH 2000, 112f.].

Texturen erhöhen den Realitätsgrad zwar drastisch, aber es sollte immer auch auf das Datenvolumen der Texturen geachtet werden. Eine hohe Qualität und eine große Zahl an Texturen widersprechen der These fünf.

Jeder Punkt, der mit dem Scanner Riegl LMS/Z210 erzeugt wird, bekommt auch einen Echtfarben RGB-Wert zugewiesen. Damit kann durch eine Konvertierung einer Punktwolke in ein 2D-Rasterbild ein Bitmap erzeugt werden, das dann als Textur z.B. für ein TIN verwendet werden kann. Ein Screenshot aus der Software I-SiTE Studio heraus geht gewiss wesentlich schneller. Die Qualität solcher Texturen ist allerdings geringwertig.

5.1.3.1 Texture-Map

Die eigentlich ersichtliche Oberfläche eines Objekts, durch Bitmap oder Prozedur-Map, jedoch ohne Eigenschaften, wie z.B. Reflexion [MACH 2000, 113]. Die Oberfläche erscheint geometrisch glatt [DORAU 1997, 44].

5.1.3.2 Bump-Map (Relief-Map)

Das Bump-Mapping erzeugt auf Basis eines Graustufenbildes den Eindruck von Erhebungen oder Vertiefungen einer Oberfläche, allerdings nur begrenzt [MACH 2000, 113].

5.1.3.3 Displacement-Map

Durch diese Technik wird die Geometrie der Oberfläche verändert, was aber weniger Speicherplatz bedarf, als die Geometrie des Objekts zu verändern [DORAU 1997, 35]. Aus Bitmaps werden durch unterschiedliche Helligkeit der Pixel Höheninformationen in ein Gitter übertragen [MACH 2000, 113].

5.1.3.4 Environment-Map

Sie simulieren die Strahlenberechnung der reflektierten Umgebung, indem ein Bitmap als Reflexion verwendet wird [MACH 2000, 114]. Die Reflexion ist also quasi vordefiniert und nicht echt, was aber gegenüber dem Raytracing weniger Berechnung bedarf.

5.1.3.5 Kachel-Map

Eine Kachel ist ein Map, das n-mal wieder verwendet wird (z.B. ein Map eines Ziegels reicht aus, um eine Ziegelmauer darzustellen). Wichtig ist dabei der nahtlose Übergang zwischen den gekachelten Einzelbildern [MACH 2000, 114]. Vorgefertigte Kachel-Maps werden häufig in Bibliotheken vorgehalten.

5.1.3.6 Multichannel-Texturing

Die Technik des Multichannel-Texturing wird angewendet, um komplexere Texturen zu erstellen. Durch Übereinanderlegen mehrerer Texturschichten wird die Eintönigkeit einer einzelnen Textur verbessert.

5.1.4 Licht und Schatten

In der Computergrafik werden echte Lichtverhältnisse durch vereinfachte Verfahren wie Raytracing (strahlenorientiert) und Radiosity (energieorientiert) simuliert. Eine Lichtquelle im Computer ist virtuell und nicht sichtbar, wir sehen lediglich ihre Auswirkungen. Licht lässt sich durch verschiedene Eigenschaften in seiner Beschaffenheit beschreiben: Intensität, Lichtabnahme, Lichteinfallwinkel und Lichtfarbe.

Es gibt drei Arten von Lichtquellen: Umgebungslicht, Punktlicht und flächenhafte Lichtquellen. Der durch Lichtquellen entstandene Schatten wirkt als gestalterisches Element (z.B. räumliche Tiefe, Volumendarstellung, Oberflächeneigenschaften). Lichtquellen erfordern Rechenleistung und damit auch Speicherplatz [MACH 2000, 130ff.]. Der Einsatz solcher Techniken ist nicht immer notwendig, erhöht aber den Realitätsgrad. Lichtstrahlen werden von keiner Erfassungsmethode aufgenommen und müssen daher immer manuell gesetzt werden. Damit wird aber auch nicht gegen These sechs verstoßen, weil es unsinnig ist Lichteinfall zu erfassen und zu speichern. Lediglich künstliche Lichtstrahler können erfasst werden, z.B. Straßenlampen. Das ist mit einem terrestrischen Laserscanner kein Problem.

5.1.5 Partikelsysteme

Rauch, Nebel, Regen, Wasserfontänen, etc. sind Elemente die sicher den Realitätsgrad einer Visualisierung erheblich steigern, jedoch auch erheblich die Rechenleistung und

das Datenvolumen erhöhen. Das erfassen solcher Phänomene ist einem terrestrischen Laserscanner teilweise möglich. Das würde aber These fünf widersprechen, weil ein Modell mit so speziellen Effekten die Downloadzeit erheblich verlängern würde.

5.1.6 Wasseroberflächen

Wie in Kapitel 4.2.3 gezeigt, lassen sich Wasseroberflächen nicht mit einem terrestrischen Laserscanner erfassen. Trotzdem an dieser Stelle einige Methoden Wasseroberflächen digital zu erstellen.

Die Darstellung einer Wasseroberfläche unterscheidet sich nur in wenigen Punkten von der Geländeoberfläche. Zum einen ist Wasser in einem gewissen Grad transparent. Dazu gibt es immer die Möglichkeit das Material mit dem Parameter Transparenz einzustellen.

Um Unregelmäßigkeiten und Wellen an der Oberfläche darzustellen, bieten sich auch wieder die verschiedenen Möglichkeiten der Texturen an. Bei starken Veränderungen bleibt nur die Modellierung der Oberfläche.

Daneben reflektiert Wasseroberflächen stark das Licht, wobei das abhängig ist von der Glattheit der Oberfläche. Zudem muss die Refraktion der Lichtstrahlen beachtet werden. Diese Techniken finden aber zumeist nur im High-End Bereich Anwendung. Häufig werden hier sog. Multichannel Texturen eingesetzt, indem mehrere Schichten Texturen übereinander gelegt werden.

5.1.7 Vegetation

Das Darstellen von Vegetation ist für eine Geovisualisierung sehr wichtig. Abhängig vom Maßstab, geht es dabei hauptsächlich um die Visualisierung von Bäumen, Sträuchern und Geländeoberflächen wie z.B. Rasen oder Fels. Kleinere Pflanzen (Blumen, Wiese) werden größtenteils vernachlässigt und/oder nur als Textur auf eine Geländeoberfläche projiziert.

Alle nachfolgenden Techniken versuchen einen hohen Realitätsgrad zu erreichen, aber trotzdem möglichst wenig Datenvolumen zu erzeugen. Damit sollen die Thesen vier und fünf erfüllt werden.

5.1.7.1 2D Zeichnungen, Symbole, 2D Prozeduren

Sie sind sehr einfach zu erstellen, aber für ein 3D-Modell lediglich als Texturen zu gebrauchen.

5.1.7.2 3D-Silhouette/Billboard

Texturen werden auf zwei sich rechtwinklig schneidenden Flächen aufgetragen. Um den Realitätsgrad zu erhöhen, werden die Flächen transparent eingestellt und die Texturen ausgeschnitten, um dahinter liegende Objekte nicht komplett zu verdecken.



Abbildung 24: Grundlage für Billboard [ERVIN 2001, 128]



Abbildung 25: Silhouette für Billboard [ERVIN 2001, 128]



Abbildung 26: Silhouette mit Textur [ERVIN 2001, 128]



Abbildung 27: mehrere Billboards [ERVIN 2001, 128]

5.1.7.3 Volumen-/Vektormodelle

Auf dreidimensionalen geometrischen Primitiven oder Vektormodellen werden Texturen aufgebracht. Sie sind wenig realitätsnah, aber schnell zu erstellen, wieder verwendbar, leicht zu skalieren und benötigen wenig Speicherplatz.

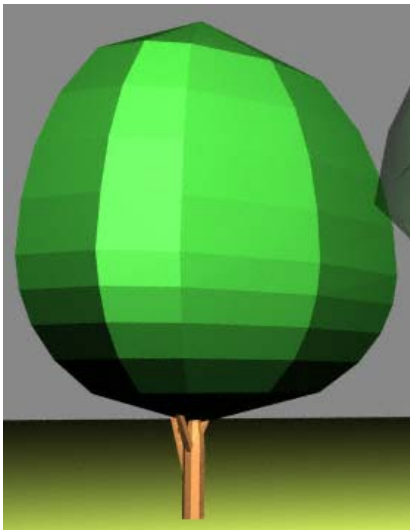


Abbildung 28: Bäume aus geometrischen Primitiven [ERVIN 2001, 120]

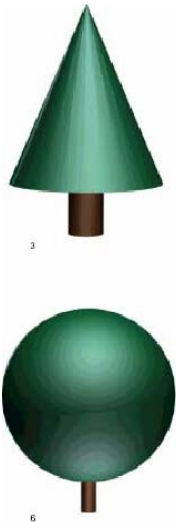


Abbildung 29: Bäume aus geometrischen Primitiven [SCHAUPPENLEHNER 2002, 40]

5.1.7.4 Procedural Models

Pflanzenmodellierungssoftware stützt sich häufig auf das mathematisch formale L-System des Botanikers Lindenmeyer, das das natürliche Wachstum von Pflanzen zu beschreiben versucht.

Diese aufwändige Methode ist für webbasierte Visualisierungen normalerweise ungeeignet, da das Datenvolumen solcher Modelle groß ist und sich mit den bestehenden Technologien häufig nicht umsetzen lässt.

5.1.8 Computer Aided Design

Vom Menschen erschaffene Geobjekte (z.B. Gebäude) haben den Vorteil, dass sie weniger schwierig zu visualisieren sind, weil sie sich größtenteils primitiver Geometrien bedienen (Quader, Kugel, Linie, etc.). Zusätzlich existieren oftmals bereits Zeichnungen, Pläne, etc., die mit Computer Aided Design-Software (CAD) erstellt worden sind. Viele solcher Geobjekte sind in ähnlicher Form bereits in Bibliotheken digital vorhanden, wie etwa Beispiele von unterschiedlichen Bäumen. Das mindert aber den Realitätsgrad stark.

CAD findet ihren Haupteinsatz in der Modellierung und Visualisierung von Architektur.

5.1.9 Animation

Die Computergrafik beschäftigt sich sehr stark mit der Animation/Bewegung von dreidimensionalen Daten. Allerdings zumeist in der Form von vordefinierten Kamerafahrten durch die Szene, was letztendlich der Form Film gleichkommt. Das widerspricht aber der These neun, dass der Nutzer selbständig und nach eigenem Ermessen mit dem Modell interagieren soll.

5.2 Software und Tools zur Bearbeitung

Die folgenden vorgestellten Softwaregruppen und Anwendungen stellen nur einen Ausschnitt der sich am Markt befindlichen dar. Die Erstellung eines umfassenden Katalogs ist nicht das Ziel, da die Halbwertszeit von Produkten, Produktversionen und Techniken teilweise unter einem halben Jahr liegen. Der Schwerpunkt liegt zwar auf 3D-Software, trotzdem wird das zweidimensionale Vektorformat SVG mit dazu genommen, weil es z.B. in der GIS-Welt oder der Kartographie bekannt ist und bereits häufig eingesetzt wird.

5.2.1 Panoramen

Das bekannteste Produkt unter der Gruppe der Panoramensoftware ist die QuickTime-Familie der Firma Apple. Mit Hilfe eines Autorenwerkzeuges werden einfache 2D-Bilder in Minutenschnelle zu einem 360°-Rundumblick zusammengefügt. Mit einem kostenlosen Viewer kann sich der Nutzer das Panorama interaktiv ansehen. Allerdings ist die Interaktivität eingeschränkt. Lediglich das Drehen in dem zylindrisch angeordneten Modell ist möglich, sowie das Springen zu anderen Panoramen (Zylindern). Freies Bewegen ist also nicht möglich.

In zukünftigen Versionen will Apple als Datenquelle XML-Formate zuzulassen, womit terrestrische Laserscanner-Daten auch hier zum Zug kommen könnten.

Panoramen erfüllen die Thesen sechs, sieben und neun nicht, weil im Moment keine Laserscanner-Daten importiert werden können, die Visualisierung nur komplett wieder verwendet werden kann und zusätzliche Software zu Darstellung nötig ist.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.2 Computerspiele

Grafik-Dienstleister im Film- und Werbebereich liefern die Resultate ihrer Arbeit in Form digitaler Daten oder leinwandtauglicher linearer Medien an ihre Kunden. Die Games-Industrie erfährt aktuell einen substanziellen Wandel weg von linearen film-ähnlichen oder statischen Backgrounds hin zu non-linearen und frei begehbaren 3D-Inhalten: der überwiegende Anteil aller aktuell gestarteten Konsolen- und Computerspiel-Projekte basiert auf Echtzeit-3D-Engines. Die Präsentation mit ausschließlich voreingestelltem Kamerawinkel gehört der Vergangenheit an [HAMMA 2003, 74].

Viele First-Person-Shooter wie Quake III oder Half-Life 2 bieten die Möglichkeit eigene Mods zu schaffen; das Spiel selbst ist quasi nur noch die Plattform. Spezielle Entwicklungsumgebungen (z.B. 3D GameStudio ab 99€, Quest3D ab 199€) erlauben u.a. die komplette grafische und physikalische(!) Ausgestaltung der Szenen.

Nintendos Playstation bietet mit der „EyeToy“-Technik eine sehr interessante Mensch-Maschine-Kommunikationsschnittstelle. Die Bewegungen, die der Mensch vor dem Display macht, werden direkt auf den virtuellen Avatar „im“ Display übertragen. Durch Handbewegungen können z.B. virtuelle Elemente „angeklickt“ werden.

Die Idee ist nun, die fortschrittliche Technik der Computerspiele für Geovisualisierungen zu nutzen. Das scheitert aber meist an den heutzutage (noch) unzureichenden Schnittstellen zu Geodaten und/oder offenen standardisierten Datenformaten.

Damit sind die Thesen sechs und sieben nicht erfüllt, weil im Moment keine Laserscanner-Daten importiert und exportiert werden können und zusätzliche Software zur Darstellung nötig ist.

Trotzdem ist es die Computerspiele-Industrie, die auf dem Gebiet der dreidimensionalen Visualisierungen Innovationen entwickelt und auch sehr schnell in die Produkte implementiert.

5.2.3 Professionelle 3D-Software

5.2.3.1 Viewpoint

Unter „Viewpoint Technologie“ versteht man eine multimediale, interaktive Plattform, die ein reales Erleben von Produkten ermöglicht. Ihr Anwendungsschwerpunkt liegt im Internet oder Intranet: Drehen, Wenden, Zoomen - dies sind Funktionen, die jedes Viewpoint-Objekt erfüllt. Selbst Farbwechsel, Konfiguration und fertige Animationen

lassen sich realisieren. Die dreidimensionalen Objekte können auf dreierlei Wegen erzeugt werden: durch 3D-Scanning, durch die Übernahme von Daten aus CAD-Systemen sowie 3D-Anwendungen, wie z.B. 3ds max. Viewpoint integriert auch andere Technologien wie z.B. Flash. Die Technologie kann aus XML-Daten „on the fly“ Inhalte erstellen. Die Daten können also abhängig von der Interaktion des Benutzers aus der Datenbank geholt werden; nur der Teil der Szene wird geladen, der vom Benutzer betrachtet wird. Zur Darstellung ist ein Plugin notwendig.

Laserscanner-Daten könnten also im XML-Format in die Viewpoint Technologie eingebracht werden. Damit sind die Thesen sieben und neun aber nur zum Teil erfüllt, weil zwar Laserscanner-Daten in Viewpoint importiert werden können, aber anschließend in ein binäres Datenformat umgewandelt werden. Zudem wird zusätzliche Software zur Darstellung benötigt.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.3.2 Cult3D

Cult3D ist eine interaktive 3D-Grafik Software, die fotorealistische Visualisierungen erzeugt. Es hat die Fähigkeit neben der Darstellung in einem Browser (mit Plugin) auch die Integration in Microsoft Office Dokumente oder Adobe PDF Dokumente. Ein besonders Feature von Cult3D ist die Erzeugung von räumlichen (stereoskopischen) Grafiken. Durch ein spezielles Farbsystem und die Verwendung von Farbfilterbrillen werden Objekte aus der simulierten 3D-Ansicht plastisch sichtbar.

Volle Dreh- und Skalierbarkeit der Szene, realistisches Aussehen von Glas, Metall, Holz und anderen Werkstoffen, Zusatzfunktionen und Animationen, wie z.B. sofortiges Wechseln von Farbe oder Material.

Wie bei allen anderen Grafikanwendungen gilt auch für Cult3D beim Einsatz im Internet: Detailreichtum erzeugt große Datenmengen, die zu langen Ladezeiten auf Seiten des Benutzers führen können. Entwickler sollten sich deshalb genauestens überlegen, welche Objekte sie darstellen wollen. Da Cult3D ein so genanntes proprietäres Format verwendet, ist die Kompatibilität in andere Anwendungen und auf andere Systemplattformen eingeschränkt.

Ein herstellereinspezifisches Plugin ist auf jeden Fall erforderlich. Die Zielgruppe von Cult3D findet sich im professionellen Webdesign. Der Aufwand für die Produktion von

Cult3D-Interaktionen ist extrem hoch, ermöglicht aber dafür überzeugende und professionelle Resultate.

Mit Hilfe des Cult3D-Exporters können z.B. aus 3ds max Szenen im Cult3D-Format exportiert werden. Über den „Umweg 3ds max“ ist es damit auch möglich, Laserscanner-Daten in das Cult3D-Format einzubringen.

Damit sind die Thesen sieben und neun nicht erfüllt, weil Cult3D ein binäres Datenformat verwendet und zusätzliche Software zur Darstellung benötigt wird.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.3.3 Discreet 3ds max

3ds max ist ein sehr mächtiges Visualisierungs-, Modellier- und Animationsprogramm. Es können 3D-Modelle von professioneller Qualität, photorealistische Standbilder sowie Animationen in Filmqualität erzeugt werden. Discreet ist eine 100%-ige Tochter des CAD-Spezialisten Autodesk, was sich deutlich im Produkt niederschlägt: Formate aus der CAD-Welt können ohne Probleme im- und exportiert werden. Allerdings ist die übliche Darstellungsweise ein gerendertes Bild oder Film (z.B. JPEG- oder AVI-Datei). Mit Plugins ist es möglich die Basisfunktionalität des Produkts unbegrenzt zu erweitern. Der IT-Entwickler Harald A. Blab (<http://www.habware.at>) stellt das Plugin Terrain2 kostenlos zur Verfügung, mit dem xyz-Koordinaten einer Punktwolke im ASCII-Format eingelesen werden und automatisch ein TIN erzeugt. Weiterhin können mit dem Plugin Dem2Max, ebenso von Habware, USGS-DEM-Daten eingelesen werden.

3ds max bietet neben Im- und Export von VRML und den anwendungsspezifischen Funktionen einige Möglichkeiten VRML-Funktionen zu implementieren, wie der Abbildung 28 zu entnehmen ist.



Abbildung 30: VRML Bearbeitungsmöglichkeiten in 3ds max

Ein von der Web3D Task Group X3D entwickeltes Open Source 3ds max Plugin, der Szenen ins X3D-Format exportiert. Allerdings ist die Extension bisher nur in den 3ds max Versionen 4 und älter lauffähig (Stand November 2003).

Die sehr großen Zahlenwerte bei Geodaten bereiten 3ds max allerdings Probleme. Das liegt daran, das 3ds max Single-Precision (32-Bit) im Gegensatz zu Geländemodellieren, die Double-Precision (64-Bit) programmiert sind. Eine Verschiebung der Geodaten in Richtung Koordinatenursprung ist deshalb bereits außerhalb der Anwendung sinnvoll [MACH 2003-3, 119]. Mit Hilfe des Verschiebevektors können aber die georeferenzierten Daten wieder hergestellt werden.

Swift3D ist eine Extension der Firma Electric Rain, die aus Discreet 3ds max in das offene und standardisierte SVG-Format exportiert.

Discreet 3ds max erfüllt alle relevanten Thesen, auch wenn damit der volle Funktionsumfang der Software damit längst nicht ausgeschöpft ist.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.3.4 Macromedia Director 8.5

Macromedia Director ist ursprünglich ein Erstellungswerkzeug für CD-ROM Präsentationen und ähnelt dem Produkt Flash sehr. Der interne Aufbau des Director entspricht einer Theaterproduktion, in der das Auftreten von Objekten in den einzelnen Szenen

festgelegt ist. Durch vorgefertigte Aktionen kann der Benutzer individuell Objekte steuern. Diese Aktionen werden über die eigene Skriptsprache Lingo programmiert [JOBST 2003, 4f]. Zur Ansicht wird ein kostenloses Plugin (Shockwaver Player) für einen Internet-Browser benötigt. Da die 3D Objekte in Director selbst nicht erstellt werden können, wird zur Modellierung der Komponenten eine Anwendung benötigt. Zu 3ds max existiert ein Plugin, das in das Shockwave Format exportiert. Laserscanner-Daten können auf diese Weise importiert werden.

Damit sind die Thesen sieben und neun nicht erfüllt, weil das verwendete Datenformat proprietär ist und zusätzliche Software zur Darstellung benötigt wird.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.4 Landschaftsmodellierer

Die Gruppe der Landschaftsmodellierer sind Fachsoftwareprodukte, die sich lediglich auf die Bearbeitung und Darstellung von Landschaften spezialisiert haben.

5.2.4.1 3D Nature World Construction Set

In dieser Anwendung können professionelle und fotorealistische Landschaftsmodelle und Animationen hergestellt werden. Der Import von DXF-Daten erweist sich als kompliziert, auch der Import von ArcView Shapes bereitet intensive Einarbeitung in die Software. Die große Einschränkung ist, dass nur Daten, welche in UTM-Koordinaten oder in geographischer Länge und Breite vorliegen, überhaupt importiert werden können. Falls das nicht der Fall ist, so bleibt nur noch die Möglichkeit, die Daten außerhalb von WCS in eines dieser beiden Koordinatensysteme zu transformieren und erst dann zu importieren.

Das Ergebnis sind gerenderte Einzelbilder oder digitale Videosequenzen, die sehr rechen- und speicherintensiv sind. Nutzerinteraktivität ist nicht vorgesehen.

Damit sind die Thesen sieben und neun nicht erfüllt.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.4.2 Lenné 3D

Lenné3D ist ein Forschungsverbundvorhaben in den Bereichen Computergrafik, Landschaftsmodellierung und Landschaftsvisualisierung. Seit Mai 2002 entwickelt das Pro-

jekt ein System zur interaktiven 3D-Landschaftsvisualisierung aus Spaziergängerperspektive und Kartensicht. Mit Lenné3D sollen Bürgerbeteiligungen und Entscheidungsprozesse insbesondere in der Landschaftsplanung unterstützt werden. Im Rahmen der 3jährigen Projektlaufzeit liegt der Schwerpunkt auf Vegetationsdarstellung, GIS-Daten und interaktivem Explorieren und Editieren von räumlichen Daten.

Im Gegensatz zur ursprünglich beabsichtigten linearen Systementwicklung wird ein iteratives, inkrementelles Vorgehensmodell verwendet. Dieses Vorgehensmodell entspricht dem heutigen Erkenntnisstand im Software-Engineering und ist insbesondere für verteilte Projekte mit komplexen Softwaresystemen als Entwicklungsgegenstand in besonderer Weise geeignet. Die Software-Architektur des Systems legt zwei Hauptkomponenten fest, den „3D-MapEditor“ zur Assemblierung, Exploration und Editierung von Landschaftsdaten sowie den „3D-Player“ zur interaktiven Visualisierung aus Spaziergängerperspektive. Diese Aufteilung resultiert daraus, dass für beide Komponenten spezialisierte und optimierte computergrafische Systeme zum Einsatz kommen, die jeweils in eigenen Teilprojekten entwickelt wurden und fortentwickelt werden. Beide Hauptkomponenten nutzen eine weitere Komponente, die zur Generierung bzw. Editierung von Pflanzenverteilungen entwickelt wird. Die Pflanzenverteilungen werden mittels heuristisch-algorithmischer Vegetationsmodelle und auf der Grundlage von Biotoypendaten, Referenzkartierungen und topografischen Standortdaten berechnet. Um die geforderte Echtzeitvisualisierung und realistische Generierung von Vegetation zu erreichen, werden u.a. Algorithmen zur Synthetisierung und computergrafischen Repräsentation in unterschiedlichen Komplexitätsstufen und effiziente Methoden zur Reduktion der Geometriedaten entwickelt [LENNE 3D 2003].

Eine Aussage über die Erfüllung der Thesen ist aufgrund des Projektstatus noch nicht möglich.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.5 GIS-Software

Geographische Informationssysteme (GIS) haben ihren Schwerpunkt auf der Analyse und Exploration und nicht in der grafischen Darstellung und Manipulation von Geodaten.

5.2.5.1 ESRI ArcView+3D Analyst

ESRI's ArcView 3.3 mit der Extension 3D-Analyst bietet auch die Möglichkeit 3D-Modelle zu erstellen. ASCII-Daten (und damit auch Laserscanner-Daten) können in ArcView importiert und zu einem TIN vermascht werden

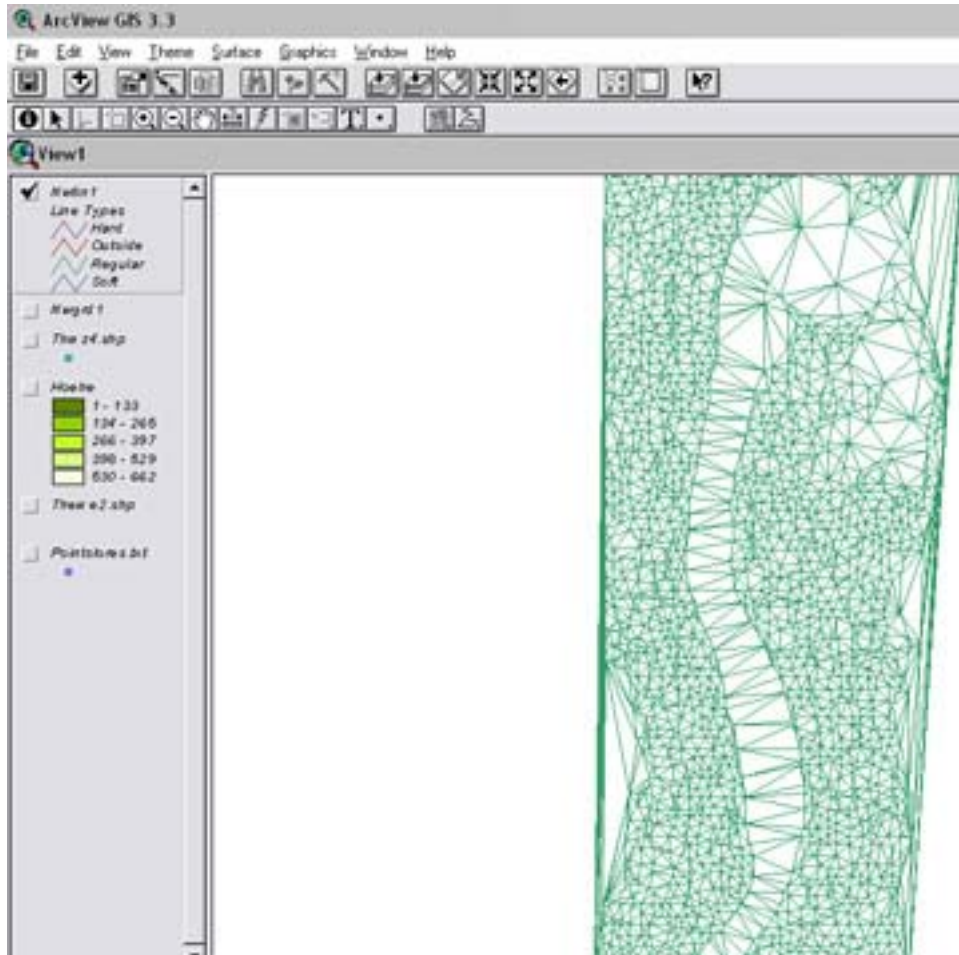


Abbildung 31: In ArcView generiertes TIN aus Laserscandaten

Und anschließend zu einer geschlossenen Oberfläche umgewandelt.

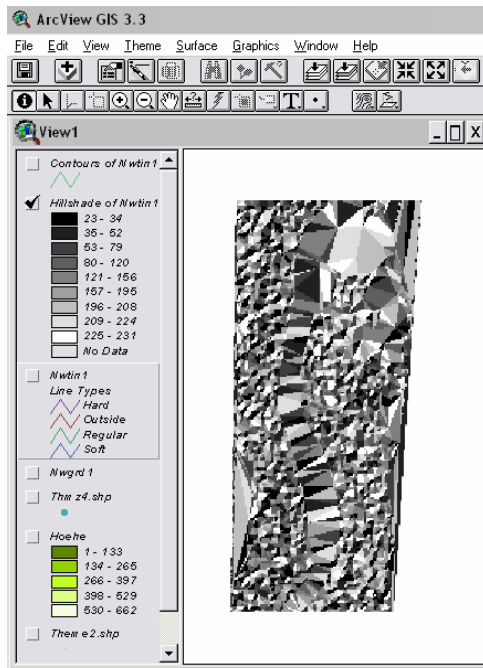


Abbildung 32: Geschlossene Geländeoberfläche in ArcView

Die Möglichkeiten zur Manipulation von solchen Modellen, die auch in VRML exportiert werden können, sind allerdings zu sehr begrenzt. Zum Erstellen von kleinmaßstäblichen DGM's ist es hervorragend geeignet. Für das Fallbeispiel, in dem auch Vegetation und Infrastruktur modelliert werden soll, allerdings weniger. Interaktive Modelle können nicht erstellt werden.

Damit sind die Thesen vier und neun nicht erfüllt, weil die Daten nicht ausreichend bearbeitet werden können, keine Interaktivität mit den Modellen gegeben ist und zusätzliche Software zur Darstellung notwendig ist.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.5.2 Map2SVG

Mit dem Plugin Map2SVG kann aus ArcView eine zweidimensionale SVG-Datei exportiert werden.

Dieses Tool hilft bei der Umwandlung von Datenformaten, ist aber keine komplette Visualisierungssoftware.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.6 CAD-Software

CAD-Systeme werden hauptsächlich zur Unterstützung und Rationalisierung von Zeichnungsarbeiten z.B. im Maschinenbau oder in der Architektur eingesetzt. Durch räumliche Modellierung oder visualisierende Funktionen, bieten die Systeme im großen Ausmaß eine Konstruktionsunterstützung. Die Mehrzahl der CAD-Software kann auch dreidimensionale Objekte erzeugen, aber zur Visualisierung sind diese Produkte weniger geeignet. CAD-Systeme dienen zur Darstellung inhaltlich-struktureller Informationen. Bei Grafiksystemen steht eine optisch wirkungsvolle Abbildung im Vordergrund. Ein wechselseitiges Austauschen der Ergebnisse über Schnittstellen und Konvertierungsprogramme ist gut möglich, es können jedoch Konvertierungsfehler auftreten. Ein übliches Austauschformat ist das Data Exchange Format (DXF) der Firma Autodesk, ist aber kein Standard und kann sich mit jedem neuen Release von AutoCAD ändern.

5.2.6.1 Autodesk Map

Autodesk Map ist eigentlich ein AutoCAD mit GIS-Funktionalität. Es bietet alle Funktionen von AutoCAD und das ist sehr von Vorteil, da im täglichen Arbeitsumfeld viele Daten im DXF- oder DWG-Format vorkommen. Zusätzlich bietet es z.B. eine komfortable Verwaltung von Sachdaten, Anbindung an Geodatenbasen, andere GIS-Systeme, Gestaltung thematischer Karten und das Arbeiten mit Topologien.

Autodesk Map erfüllt These neun nicht, weil zusätzliche Software zur Darstellung notwendig ist.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.6.2 @Last Software SketchUp

Ein CAD ähnliches Tool ist SketchUp der Firma @Last Software, mit dem man sehr schnell und unkompliziert dreidimensional skizzieren und modellieren kann. Es ist ein einfach zu erlernendes Konzept- und Entwurfswerkzeug, mit vielen Import- und Exportmöglichkeiten (DXF, VRML, PDF, 3DS, ...).

Dieses Tool hilft bei der Bearbeitung der Laserscanner-Daten, ist aber keine komplette Visualisierungssoftware.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.6.3 AutoTerrain

Die Firma EDO Software stellt eine Zusatzsoftware zu CAD-Programmen her. Das Plugin AutoTerrain ermöglicht es Autodesk AutoCAD 2002 auf DGM-Daten zuzugreifen.

Dieses Tool hilft bei der Bearbeitung von Daten, ist aber keine komplette Visualisierungssoftware.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.7 ViSC-Software

Es gibt eine Vielzahl an spezieller Software für verschiedene wissenschaftliche Bereiche. Zwei Beispiele:

Das Visualization Toolkit (vtk) ist ein Softwaresystem für 3D Computergrafik, Bildverarbeitung und Visualisierung. vtk ist ein echtes Visualisierungssystem und unterstützt eine große Zahl von Visualisierungsalgorithmen, sowie fortgeschrittene Modelltechniken.

Am Institut für Waldwachstum der Universität Freiburg wird innerhalb des Projekts „natscan“ u.a. nach der Konzeption von Algorithmen zur Mustererkennung, Visualisierung und Aggregation von Laserscanner-Daten separierter Waldobjekte geforscht. Dabei kommt vtk zum Einsatz.

An der Universität Stuttgart wurde das Scientific Visualization Package COVISE entwickelt, mit dem virtuelle Modelle entwickelt von der Größe einer Ameise bis zu ganzen Landschaften werden können.

Beide sind ausgesprochene Expertensysteme, deren Einarbeitung meist langwierig ist, viel Vorwissen voraussetzt und deren Bedienung die Kenntnis einer Programmiersprache erfordert. Gleichwohl können sie in der Geovisualisierung sehr komplexe Daten visualisieren und sehr detaillierte Modelle erzeugen.

Diese Softwaregruppe kann alle Thesen erfüllen.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.8 Java3D

Das Java3D Advanced Programming Interface (API) ist eine Schnittstelle, um Programme zur Erstellung, Darstellung und Animation von 3D-Szenen in der Programmiersprache Java zu schreiben. Im Gegensatz zu den anderen beschriebenen Tools ist es keine Autorenumgebung, sondern ein Zusatzpaket zur Programmiersprache Java, mit der Applets erstellt werden können, die sich leicht in eine HTML-Seite einbauen lassen. Java hat eine Schnittstelle zur XML. Damit lassen sich Laserscanner-Daten mit Java3D verarbeiten.

Java3D kann alle Thesen erfüllen, sofern auf dem Computer des Nutzers eine Java Laufzeit Umgebung installiert ist.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.9 Editoren

Editoren sind kleine Tools und bieten die Möglichkeit, einen vorhandenen Quelltext einer Datei zu ändern. Durch Features wie Syntax-highlighting oder Validierung lässt sich der Quelltext komfortabel bearbeiten.

5.2.9.1 Parallel Graphics VRMLPad

Dieses Produkt der Firma Parallel Graphics ist ein textbasierter Editor. Sehr gute Kenntnisse von VRML sind für die Arbeit mit der Anwendung unverzichtbar. Ein Import von ASCII-Daten ist nicht möglich. Aber über den „Umweg“ 3ds max können exportierte VRML-Dateien bearbeitet werden.

[Menu](#) | [Links](#)

[Menu](#) | [Software](#)

5.2.9.2 Web3D X3D-Edit

X3D-Edit ist ein von der Web3D Task Group X3D entwickelter textbasierter Editor auf Open Source Basis. Es ist ein grafischer Editor für X3D, der einfaches und fehlerfreies bearbeiten, verfassen and verifizieren von X3D oder VRML Dateien ermöglicht. X3D-Edit verwendet ein XML-Schema, das in der X3D Document Type Definition (DTD) definiert ist, in Kombination mit Sun's Java, IBM's Xena XML editor, und einer „editor profile configuration“ Datei.

Integriert ist auch die XSLT-Funktionalität, mit der X3D-Dokumente z.B. nach VRML oder HTML umgewandelt werden können.

[Menu](#) | [Software](#)

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.10 Autorenumgebungen

Autorenumgebungen bieten im Gegensatz zu reinen Editoren die Möglichkeit, die Daten auch grafisch zu ändern (WYSIWYG-Anwendungen (What You See Is What You Get)).

5.2.10.1 Parallel Graphics Internet Space Builder

Der Internet Space Builder ist eine solche WYSIWYG-Anwendung zur Erstellung von VRML-Welten. Großer Nachteil dieses sehr einfach anzuwendenden Tools ist die größenmäßige Begrenzung der Szene auf 1000 Meter. Georeferenzierte Daten lassen sich damit folglich nicht bearbeiten. Und auch bei Modellen mit umgerechneten Koordinaten (Ursprung null im Modell) stößt man bei Geovisualisierungen schnell an die 1000m Begrenzung. Trotzdem kann man dieses Tool zur schnellen Erstellung von einzelnen VRML-Objekten verwenden.

Ein direkter Import von Laserscanner-Daten ist auch hier nicht möglich.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.10.2 Macromedia Dreamweaver und X3D-Weaver

X3D-Weaver ist ein Plugin für Macromedias WYSIWYG-Umgebung Dreamweaver MX mit der man X3D-Modelle erstellen kann. Das Tool ist während der Anfertigung dieser Arbeit in der Alpha-Phase und damit praktisch nicht testbar. Das Projekt klingt aber sehr viel versprechend. Mit Dreamweaver steht eine zuverlässige und bewährte Technik zur Erstellung von Webinhalten zu Verfügung, die zudem noch leicht zu erlernen und erschwinglich ist.

Welche Daten importiert werden können, lässt sich noch nicht sagen.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.10.3 Vizx3D

Vizx3D ist ein WYSIWYG Tool, das einfach anzuwenden und erschwinglich ist. Die Modellier- und Animationsumgebung erzeugt X3D und VRML-Dateien.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.10.4 Adobe Illustrator und Corel Draw

Die Anwendungen Adobe Illustrator und Corel Draw importieren zweidimensionale ASCII-Daten und exportieren zweidimensionale SVG-Dateien [FIBINGER 2002, 358].

[Menu](#) | [Links](#)

Der erzeugte Code liegt aber bei allen Produkten meist unstrukturiert vor oder ist sogar fehlerhaft und muss oft nachbearbeitet werden. Dazu bieten beide Produkte aber vielfältige Möglichkeiten.

Trotzdem der Schwierigkeiten erfüllen diese beiden Anwendungen alle relevanten Themen. Es muss aber beachtet werden, dass es sich hier nur um zweidimensionale Modelle handelt.

5.2.11 Konverter

Konverter wandeln Daten von einem Format in ein anderes.

5.2.11.1 VRML-Konverter

Mit diesem auf Microsoft Access basierenden Tool, entwickelt vom Ingenieurbüro Ostenrieder, lassen sich automatisch ASCII- und DXF-Daten aus dem I-SiTE System in eine fertige VRML-Datei umwandeln.

[Menu](#) | [Links](#)

5.2.11.2 NIST Vrm197ToX3d

Ein kostenloser Konverter, der VRML-Dateien in X3D-Dateien umwandelt

[Menu](#) | [Links](#)

5.3 Darstellungssoftware

5.3.1 Internet-Browser

Die Betriebssysteme von Microsoft, Apple, Linux und Unix haben standardmäßig einen Internet-Browser installiert. Internet Explorer und Netscape Navigator sind die beiden am häufigsten verwendeten Internet-Browser. Alle Datenformate können derzeit nicht allein mit einem Internet-Browser dargestellt werden. Die meisten proprietären Datenformate werden mit einem eigenen Viewer oder Plugin für diese Browser dargestellt. Zum Beispiel bietet Cult3D ein eigenes Plugin. Viewpoint präsentiert seine Daten dagegen in einem Java-Applet. Dazu muss der Computer eine Java Laufzeit Umgebung installiert haben.

5.3.1.1 Blaxxun X3D-Browser

Der Browser Blaxxun3D ist ein Beispiel für einen X3D-Browser, der über die Anforderungen der X3D-Spezifikation hinausgeht. Er hat das Core-Profile implementiert und zusätzlich noch Sensor-Knoten, um eine Szene interaktiv zu gestalten, sowie LOD- (Level-of-Detail) und Audiofunktionalität. Er ist als Java-Applet realisiert und benötigt nur 55KB, was im Vergleich zu VRML97-Browsern wie dem CosmoPlayer zeigt, wie sich der Aufwand zur Implementierung eines Browsers erheblich verringert hat.

Er erfüllt alle relevanten Thesen, sofern eine Java Laufzeit Umgebung installiert ist.

[Menu](#) | [Links](#)

[Menu](#) | [Software](#)

5.3.1.2 Shout3D-Browser

Der Browser Shout3D ist ähnlich wie der Blaxxun3D als Java-Applet realisiert, hält sich aber strikt an die Spezifikation von X3D des Web3D-Konsortiums.

Er erfüllt alle relevanten Thesen, sofern eine Java Laufzeit Umgebung installiert ist.

[Menu](#) | [Links](#)

5.3.1.3 OpenWorlds Horizon Browsers

OpenWorlds Horizon ist eine Kollektion von Web3D und Multimedia Browsern, die kostenlos, veränderbar und erweiterbar sind. Sie unterstützen die Standards VRML und

X3D, sowie technische Features wie z.B. Echtzeit-Schatten, reflection mapping oder NURBS. Es ist eine Plattform für Entwickler, die ihre eigenen Features in die Browser implementieren können. Er erfüllt die These neun nicht, weil er zusätzlich installiert werden muss.

[Menu](#) | [Links](#)

5.3.1.4 Cortona VRML Client

Der Cortona VRML Client der Firma Parallel Graphics ist ein leicht bedienbares VRML-Plugin für Internet-Browser. Er erfüllt die These neun nicht, weil er zusätzlich installiert werden muss.

[Menu](#) | [Links](#)

5.3.1.5 Viewer

SVG-Dateien können mit den kostenlosen Viewern Adobe SVG Viewer und Apache Batik dargestellt werden. Beide erfüllen die These neun nicht, weil sie zusätzlich installiert werden müssen.

[Menu](#) | [Links](#)

5.4 Überblick zu Software und Datenformaten

<i>Produkt</i>	<i>Import von ASCII-/DXF-Format</i>	<i>Export von Visualisierungsformaten</i>	<i>Modellierung</i>	<i>Sachdaten</i>
Discreet 3ds max 5	ASCII, DXF	VRML, X3D, Cult3D, Shockwave3D, Viewpoint, DXF, DWG, SVG, ASCII, Quicktime, etc.	Netze, Grundkörper, Splines, Texturen, etc.	nein
ESRI ArcView 3.3	ASCII	VRML, DXF, JPG	nein	ja
Autodesk Map 2004	ASCII, DXF	VRML, 3DS	Splines	ja
3D Nature World Construction Set 6	DXF	JPEG, TIFF und andere Rasterda-	Netze, Grundkörper, Textu-	nein

		ten	ren	
I-SiTE Studio 2.1	ASCII, DXF	DXF	Netze, Splines	nein
VRML-Konverter	ASCII, DXF	VRML	nein	nein

Abbildung 33: Anwendungen zur Bearbeitung und Modellierung von Laserscanner-Daten

<i>Datenformat</i>	<i>2D/ 3D</i>	<i>Standar- disiert</i>	<i>Offen/ Proprietär</i>	<i>Zusätzliche Software zur Darstellung Nötig?</i>	<i>Grafische Qualität</i>	<i>Interaktivität</i>	<i>XML Basiert oder kompa- tibel</i>
VRML	3	ja	offen	Browser- Plugin	Low- Polygon	ja, im Plugin und programmier- bar	nein
X3D	3	geplant	offen	Java-Applet	Low- Polygon	ja, im Plugin und program- mierbar	ja
Macromedia Shockwave3D	3	nein	prop.	Browser- Plugin	Low- Polygon	ja, program- mierbar	nein
Viewpoint	3	nein	prop.	Browser- Plugin	Fotorealis- tisch	ja, program- mierbar	nein
Cycore Cult3D	3	nein	prop.	Browser- Plugin	Fotorealis- tisch	ja, program- mierbar	nein
Java3D	3	ja	offen	Java-Applet	Low- Polygon	ja, program- mierbar	ja
SVG	2	ja	offen	Vie- wer/Browser- Plugin	Vektorgrafi- ken	ja, program- mierbar	ja
Macromedia Flash	2	nein	prop.	Browser- Plugin	Vektorgrafi- ken	ja, program- mierbar	bedingt

Apple Quicktime	2	nein	prop.	Browser- Plugin	fotorealis- tisch	nur vordefi- niert	nein
--------------------	---	------	-------	--------------------	----------------------	--------------------------	------

Abbildung 34: Überblick zu Datenformaten zur Visualisierung

6 Praktische Umsetzung

Die Erfassung, Speicherung und Orientierung der Laserscanner-Daten ist in Kapitel 4.1.2 beschrieben. Diese Arbeiten erfolgten in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Ostenrieder unter der Leitung von Dipl. Ing. Moritz Ostenrieder. Der Autor fungierte dabei lediglich als Helfer. Die anschließend beschriebene Nachbearbeitung der Daten liegt dagegen in seiner Hand. Trotzdem sind spezifische Nachfragen zum Bereich Laserscanning während der gesamten Nachbearbeitung der Daten und der Anfertigung der Master Thesis unausweichlich.

6.1 Ausgangssituation

Ausgangspunkt der Nachbearbeitung sind sechs 3DI-Dateien (das binäre Datenformat der Software I-SiTE Studio 2.1), die zusammen eine Punktwolke bilden.

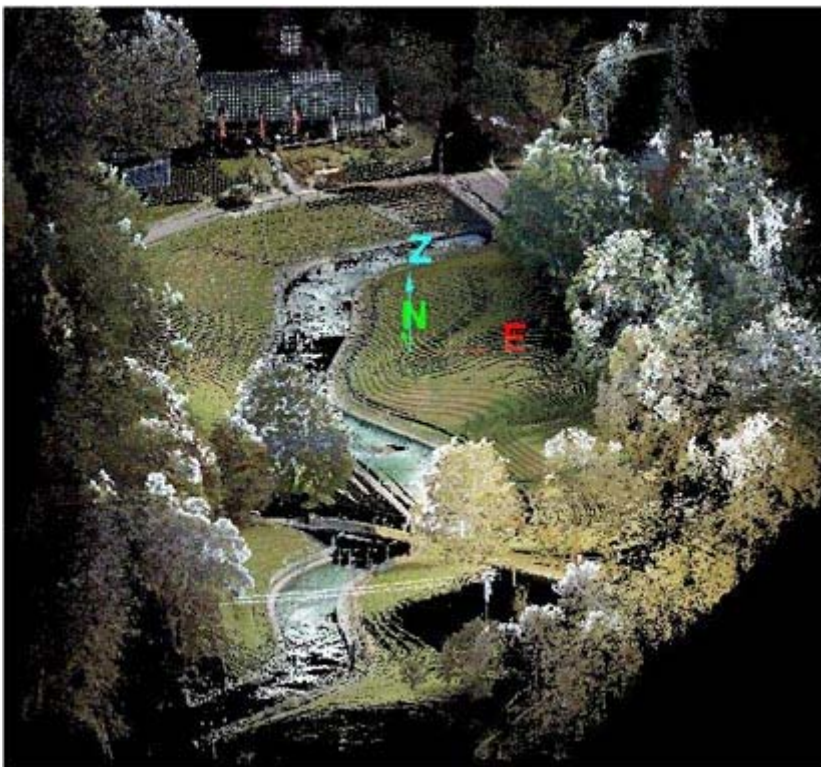


Abbildung 35: Gesamte Punktwolke aus der Vogelperspektive

Aus dieser Punktwolke werden zunächst unsinnige Punkte entfernt (siehe Kapitel 4.4.1).

Der Nachteil der sehr detaillierten Punktwolke ist, dass mit der vorhandenen Computerausstattung (siehe Kapitel 1.2) keine ruckfreie/kontinuierliche Bewegung der Punktwolke in I-SiTE Studio möglich ist. Ein schnellerer Prozessor, mehr Arbeitsspeicher und eine schnellere Grafikkarte würden das Problem beheben.

KERN beschreibt das Wesen des Scannens als sequentielles „blindes“ Abtasten der Umgebung [KERN 2003, 4]. Daraus resultiert eine unstrukturierte Punktwolke, die ihren Wert erst durch eine Nachbearbeitung erhält.

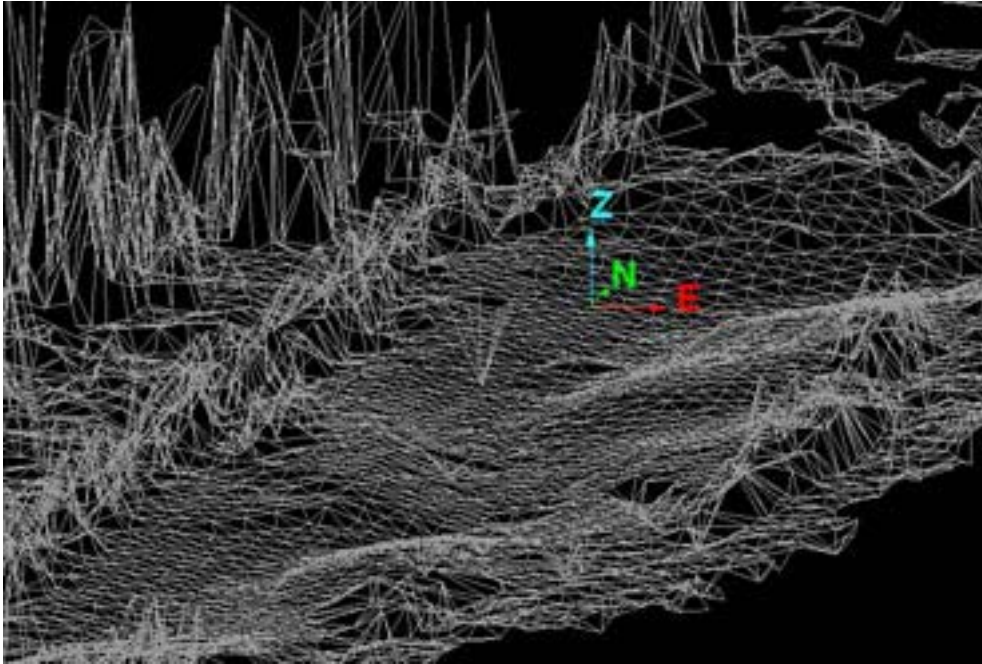


Abbildung 36: Triangulation einer unstrukturierten Punktwolke

6.2 Digitales Oberflächen Modell

Nach einigen frühzeitigen Visualisierungsversuchen ist offensichtlich, dass man zwar die komplette Punktwolke sinnvoll darstellen kann, aber sobald daraus die Punkte automatisch zu einer Triangulation miteinander verbunden werden, entstehen wirre Gebilde, die nicht viel mit den realen Geoobjekten zu tun haben.

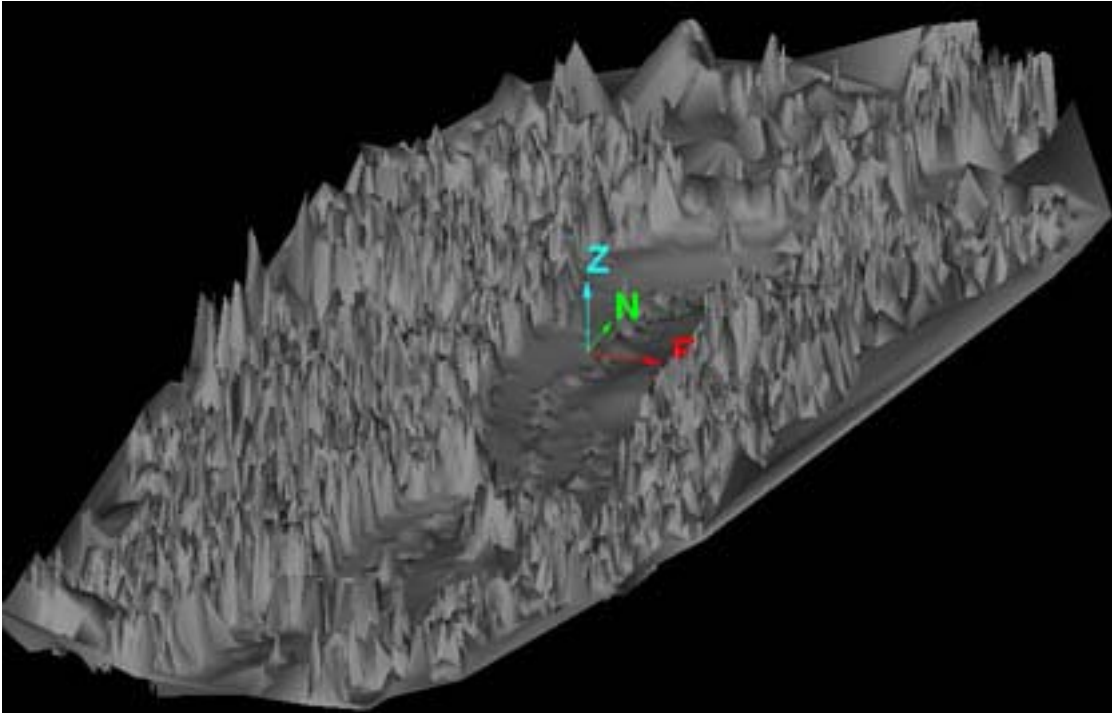


Abbildung 37: Triangulation der Rohdaten in I-SiTE Studio

Das Ergebnis kann aber als digitales Oberflächen Modell (DOM) verwendet werden. Die Triangulation kann als DXF-Datei exportiert werden.

6.2.1 Separierung der Geobjekte

Im nächsten Arbeitsschritt werden der einzelnen Geobjektgruppen Vegetation, Geländeoberfläche und Infrastruktur durch Löschen von einzelnen Punkten aus der gesamten Punktwolke herausgelöst. Punkte werden gelöscht, indem sie mit der Maus selektiert werden und anschließend die Funktion Löschen aufgerufen wird (oder die Taste „Entf“ gedrückt wird). Das selektieren von Punkten in einer 3D-Umgebung ist gewöhnungsbedürftig. Das Modell muss ständig bewegt werden, um zu kontrollieren, dass nicht versehentlich andere Punkte mit selektiert werden. Oder es können Punkte falsch interpretiert werden. Letztendlich erhält jede Geobjektgruppe seine eigene Punktwolke.



Abbildung 38: Separierung der Geobjekte in I-SiTE Studio 2.1

Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass durch die Trennung der einzelnen Geobjektgruppen kleinere Punktwolken entstehen. Damit lässt sich auch mit der vorhandenen Computerausstattung eine ruckfreie/kontinuierliche Bewegung der jeweiligen Punktwolke erreichen. Zudem ist die Handhabung einer kleineren Punktemenge einfacher. Die einzelnen Punktwolken können einzeln gespeichert oder exportiert werden.

[Menu | Daten/Modelle](#)

6.2.2 Reduzierung der Punktedichte

Die Punktedichte der originalen Punktwolke liegt im Zentimeter-Bereich, sodass große Geobjekte wie z.B. die Geländeoberfläche aus mehreren Millionen Punkten besteht. Die Folge ist, wie bereits erwähnt, ein sehr langsames Bewegen in der Punktwolke, was den Arbeitsablauf stark einschränkt.

Abhilfe schafft, neben der Separierung von Geoobjekten, eine systematische Reduzierung der Punktedichte. Eine Reduzierung ist auch im Hinblick auf eine Low-Polygon-Modeling, bzw. Übertragung via Internet und Darstellung in einem Browser sehr sinnvoll (siehe Kapitel 4.4). Eine Datenreduktion in I-SiTE Studio 2.1 wird durch den Einsatz von div. Filtern erreicht. Der Autor hat z.B. die Geländeoberfläche mit der Funktion „Topography“ gefiltert, sodass in einem bestimmten Radius (z.B. 1 Meter) alle höher liegenden Punkte herausgefiltert werden. Damit wird eine „rauhe“ Geländeoberfläche, die z.B. durch einen Rasen entsteht, geglättet. Bei einem Radius von zwei Metern ist die Punktedichte bereits sehr gering, die Glättung dadurch sehr stark.

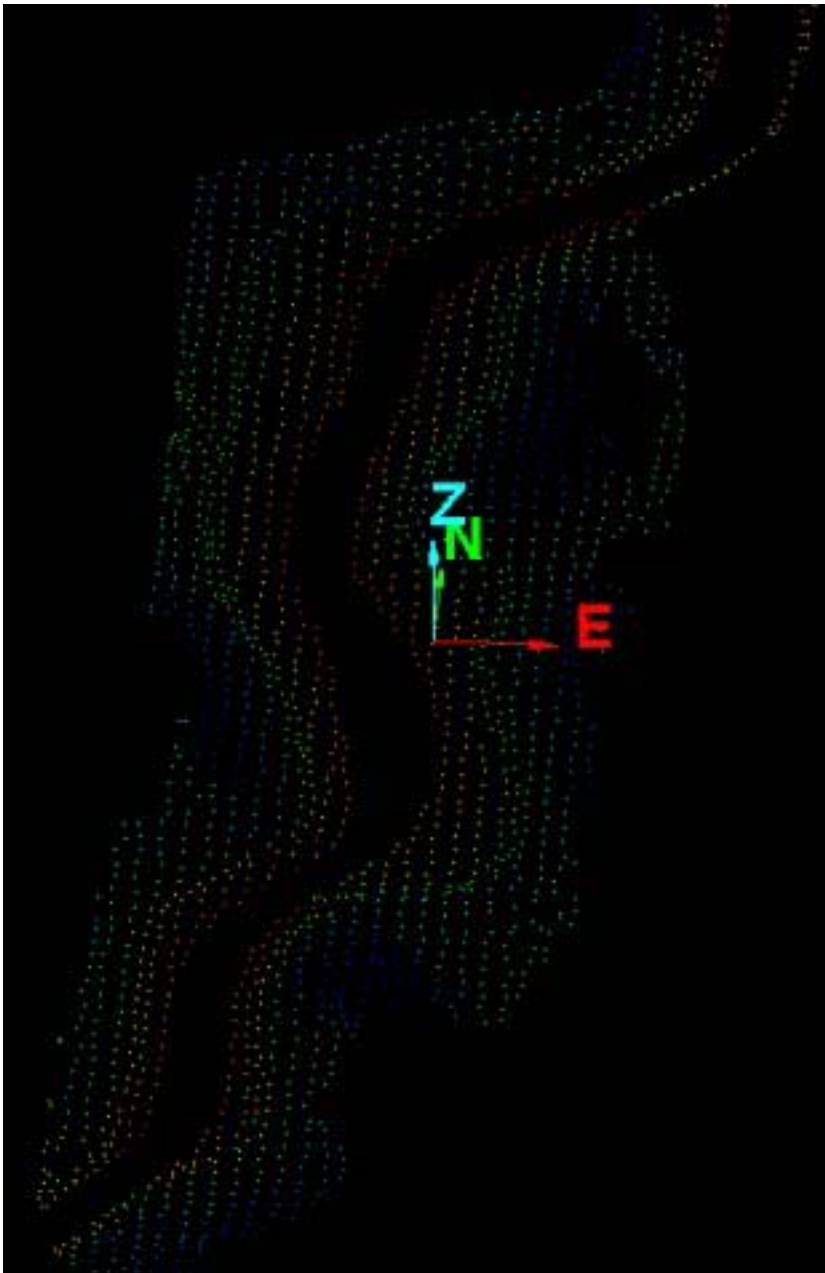


Abbildung 39: Reduzierung der Geländeoberfläche mit dem Topography-Filter 2m

Mit der Funktion „Minimum Separation“ kann die Punktedichte direkt angegeben werden, indem der minimale Abstand der Punkte festgelegt wird. Bei Vegetation wie, z.B. Bäumen ist der Einsatz dieser Funktion sehr sinnvoll.

[Menu](#) | [Daten/Modelle](#)

6.2.3 Triangulierung

Nach diesen Bearbeitungsschritten zur Reduzierung der Punktwolken können jetzt die Punkte zu einem Dreiecksnetz verbunden werden (Triangulierung). I-SiTE Studio 2.1 bietet dazu eine Funktion an. Das ist allerdings nur für kontinuierliche Oberflächen wie z.B. eine Geländeoberfläche oder Gebäude sinnvoll.

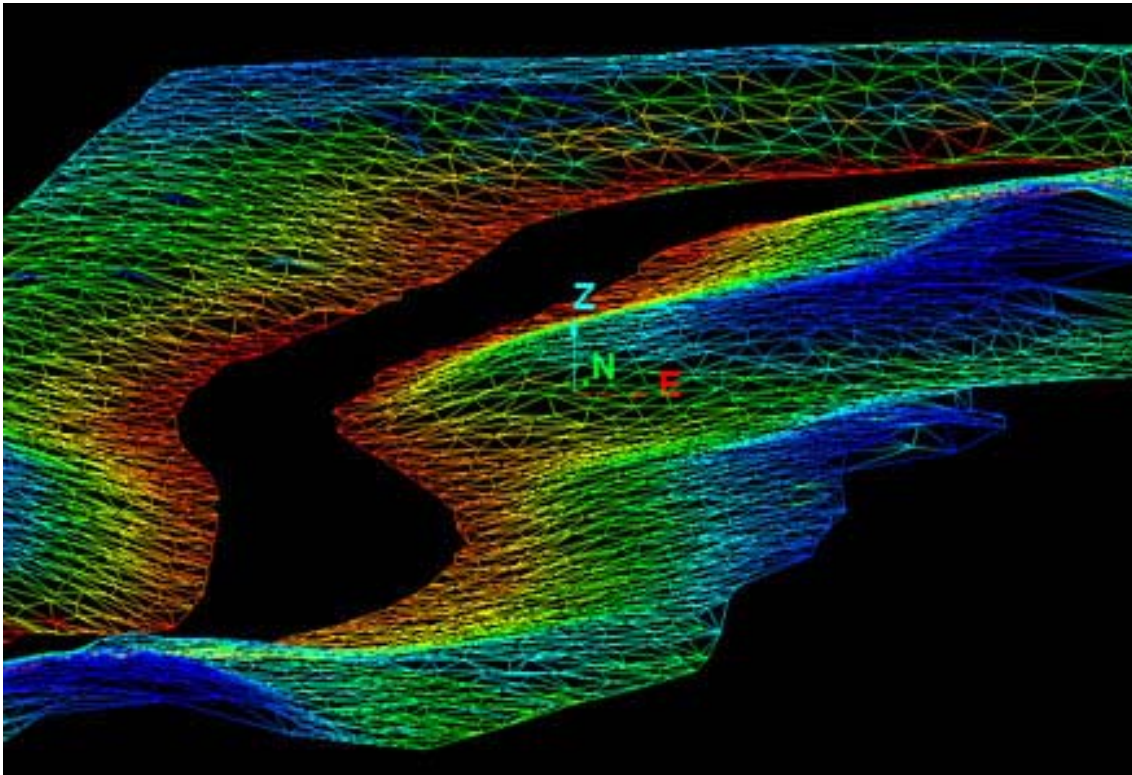


Abbildung 40: Triangulation in I-SiTE Studio 2.1 (Höhen durch Farben)

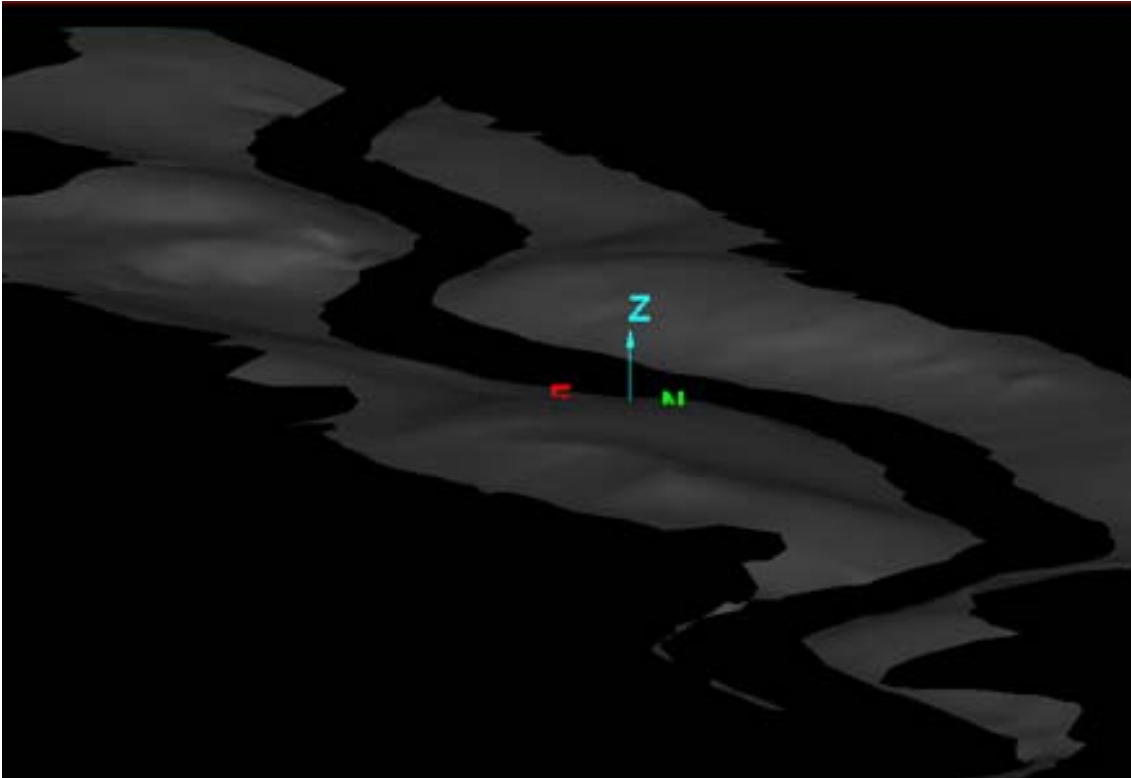


Abbildung 41: Triangulierung zu einer geschlossenen Geländeoberfläche in I-SiTE Studio 2.1

[Menu](#) | [Daten/Modelle](#)

Eine Triangulierung lässt sich als DXF-Datei exportieren.

Die Triangulierung eines Baumes in I-SiTE Studio 2.1 ergibt kein sinnvolles Ergebnis.

6.2.4 Extraktion von Geometriedaten

Deswegen hat sich der Autor entschlossen, lediglich den Standort der Bäume exakt zu bestimmen. Dazu steht eine Funktion zur Verfügung, die mit Hilfe von selektierten Punkten einen Kreis zieht. Damit lässt sich aus der Vogelperspektive um den Umriss eines einzelnen Baums ein Kreis ziehen.

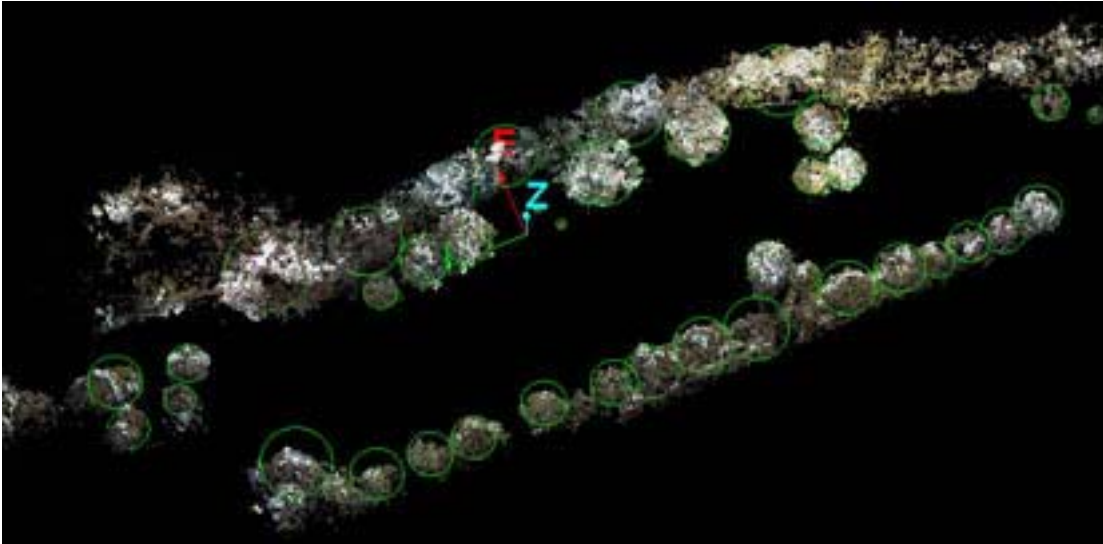


Abbildung 42: Bestimmung des Standorts von Bäumen mit Kreisobjekten

Die Umrisse anderer Geobjekte wie z.B. Geländer, Parkbänke oder Gebäude lassen sich mit einer Linien-Funktion sehr leicht extrahieren. Dabei werden selektierte Punkte zu einem Polygonzug verbunden.

Die Kreise und Linien lassen sich im DXF-Format speichern und exportieren.

[Menu](#) | [Daten/Modelle](#)

6.3 Translation der georeferenzierten Daten

Eine Verschiebung der vorliegenden georeferenzierten Daten in Richtung des Ursprungs ist unter zwei Gesichtspunkten sinnvoll. Erstens kann die Bearbeitung mit Koordinaten im 7-stelligen Bereich für einige Softwareprodukte Probleme bereiten (z.B. in 3ds max), zum anderen lässt sich durch umgewandelte Koordinaten viel Datenvolumen einsparen (siehe auch Kapitel 6.5)

In I-SiTE Studio lassen sich durch eine Funktion die Daten sehr einfach in beide Richtungen umwandeln.

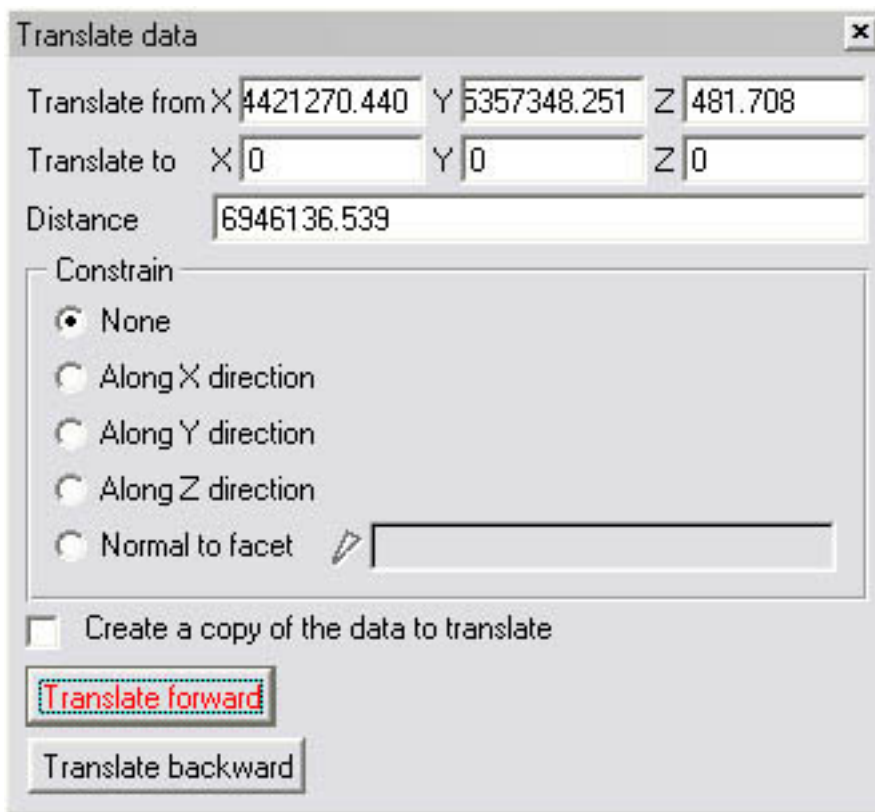


Abbildung 43: Translation georeferenzierter Daten in I-SiTE Studio

Eine Umkehr der Umwandlung ist durch erneute Eingabe der Länge und Richtung des Distanzvektors möglich.

6.4 Export aus I-SiTE Studio

Abschließend können die Punktwolken, die Triangulationen und die extrahierten Geometrien (Kreise, Linien, etc.) exportiert werden. Der Autor hat die Formate TXT und DXF bevorzugt, um die Daten außerhalb von I-SiTE Studio 2.1 weiter zu bearbeiten. Konkret werden die extrahierten Geometrien in DXF-Dateien gespeichert (eine Datei je Geobjekt) und die separierten Punktwolken in TXT-Dateien. Die Punktwolken im TXT-Format bestehen aus den drei Koordinaten x, y und z, sowie aus den RGB-Werten und der Intensität des Punktes.

Datei	Bearbeiten	Format	Ansicht	?		
4421304.818472	5357396.164692	480.141735	255	10	0	1523.000000
4421306.387480	5357397.131204	480.125227	255	10	0	1573.000000
4421304.415572	5357395.502503	480.153199	255	10	0	1543.000000
4421300.938723	5357393.073137	480.189427	255	20	0	1475.000000
4421299.985795	5357392.170251	480.197252	255	20	0	1627.000000
4421298.486166	5357391.032262	480.208805	255	20	0	1687.000000
4421308.913372	5357398.229592	480.092990	255	10	0	1441.000000
4421302.857507	5357393.488738	480.212244	255	20	0	1810.000000
4421297.334134	5357390.254272	480.234555	255	20	0	1559.000000
4421311.588847	5357400.179951	480.062070	255	0	0	1344.000000
4421310.871327	5357399.202177	480.076885	255	10	0	1404.000000

Abbildung 44: Koordinaten einer georeferenzierten Punktwolke

[Menu](#) | [Daten/Modelle](#)

6.5 Datenvolumen

Zum Vergleich der Dateivolumen vor und nach einer Reduktion und vor und nach einer Umwandlung der Koordinaten die nachfolgende Abbildung.

Objekt	Dateityp	Dateigröße georeferen- ziert	Dateigröße lokal	Reduzierung des Datenvolumens
Punktwolke Original	TXT	367 MB	310 MB	16%
Punktwolke Geländeoberfläche	TXT	2.987 kB (100%)	2.052 kB (100%)	31%
Punktwolke Geländeoberfläche mit ‚Topography‘-Filter 1m	TXT	834 kB (72%)	685 kB (67%)	18%
Punktwolke Geländeoberfläche mit ‚Topography‘-Filter 2m	TXT	232 kB (92%)	180 kB (91%)	22%
Punktwolke einzelner Baum	TXT	223 kB	-	
Polylinien Brückenumrisse	DXF	16 kB	-	
Polylinie Kanal Oberkante	DXF	20 kB	-	
Kreise Baumumrisse	DXF	1.345 kB	-	
TIN Geländeoberfläche mit ‚Topography‘-Filter 1m	DXF	7.082 kB	-	
TIN Geländeoberfläche mit ‚Topography‘-Filter 2m	DXF	2.085 kB	-	

Abbildung 45: Datenvolumen von Dateien nach dem Export aus I-SiTE Studio

6.6 Modifizierte Stadtgrundkarte von Augsburg

Das Stadtvermessungsamt Augsburg hat dem Autor einen Ausschnitt der digitalen Stadtgrundkarte überlassen. Dieser liegt im georeferenzierten DXF-Format vor und wurde vom Autor auf vier Layer reduziert: Strassen und Wege, Gewässer, Gebäude und Brücken.

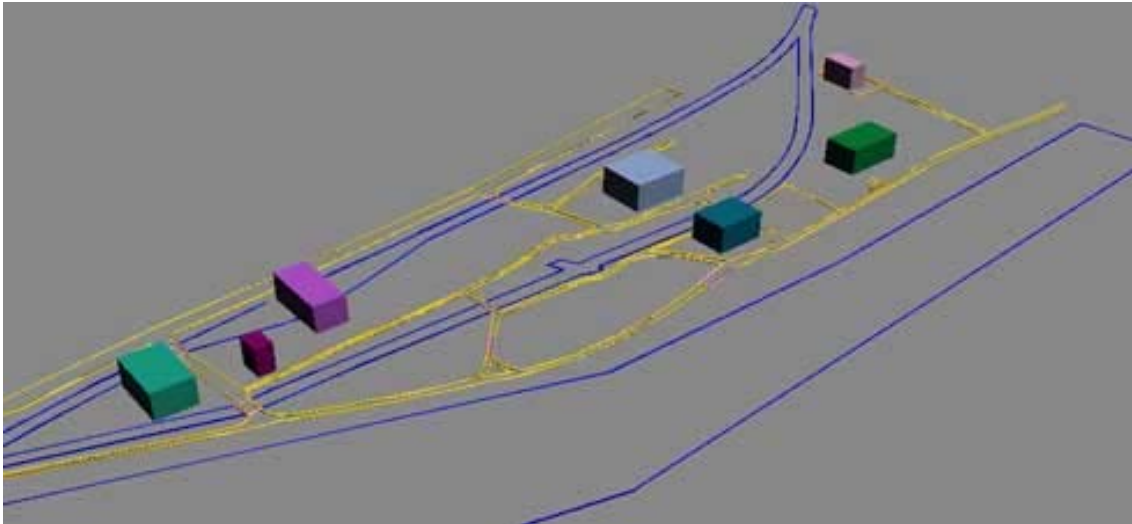


Abbildung 46: modifizierter Ausschnitt der digitalen Stadtgrundkarte von Augsburg

Allerdings liegen die Daten nur zweidimensional vor. Weiterhin müssen die Daten noch geringfügig nachbearbeitet werden (z.B. Erzeugung geschlossener Splines).

[Menu](#) | [Daten/Modelle](#)

Die Stadtgrundkarte kann als Ergänzung zu den Laserscanner-Daten eingesetzt werden.

6.7 Visualisierung mit 3ds max 5

3ds max bietet optimale Modellierungsmöglichkeiten, viele Schnittstellen zu anderen Datenformaten und Möglichkeiten zum Low-Polygon-Modeling. Aus 3ds max lassen sich alle offenen grafischen 3D-Datenformate exportieren: VRML und X3D. Außerdem viele proprietäre Formate: Cult3D, Viewpoint, Quicktime, DXF, AI, IGES, Lightscape, Flash, Director3D, u.a. 3ds max ist ein universelles Tool, mit dem auch Geovisualisierungen erstellt werden können.

6.7.1 DGM-Erstellung in 3ds max

Mit Hilfe des Plugins Terrain2 (siehe auch Kapitel 5.2.3.3) werden die Koordinatentriplel aus der TXT-Datei, die die Punkte der Geländeoberfläche enthält, eingelesen und zu einem TIN vermascht.

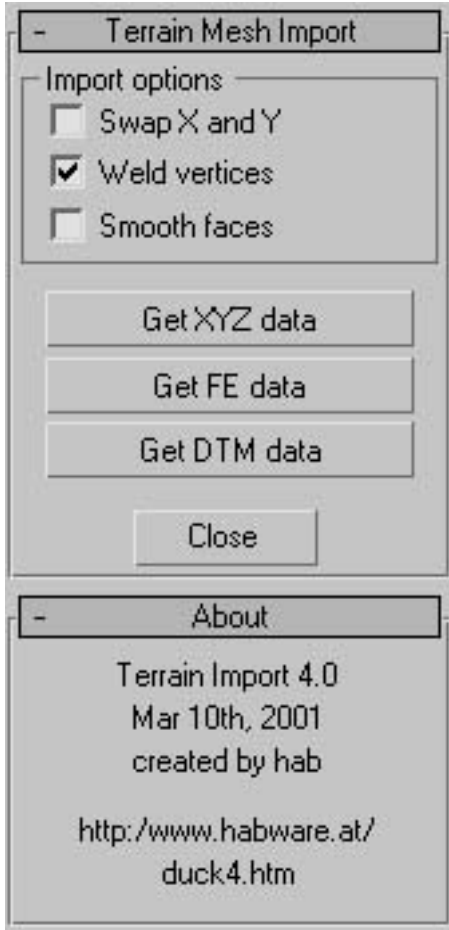


Abbildung 47: Plugin Terrain2

Ergebnis ist ein Digitales Geländemodell (DGM).

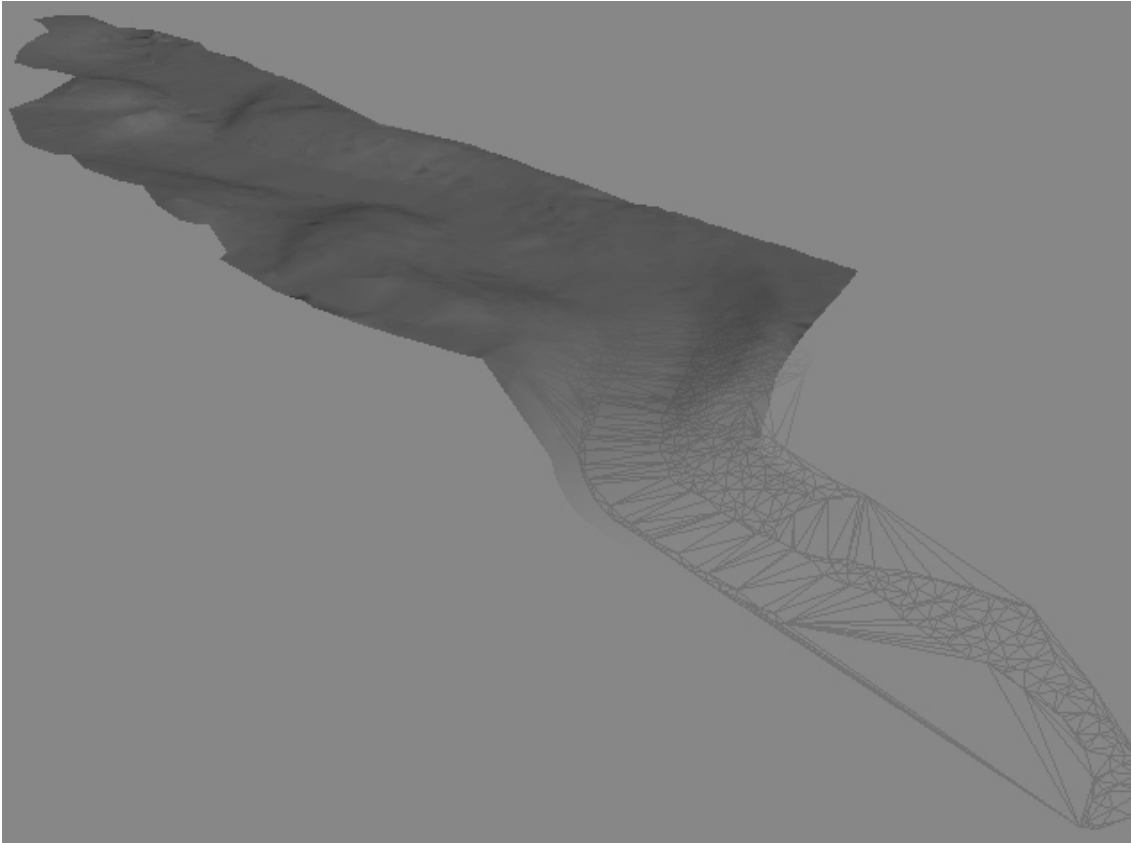


Abbildung 48: Mit Terrain2 importierte Punktwolke (Fotomontage, TIN/Oberfläche)

[Menu | Daten/Modelle](#)

Zu dem TIN aus I-SiTE Studio 2.1 besteht praktisch kein Unterschied.

Das erstellte DGM kann bereits exportiert werden.

6.7.2 Texturierung der Geländeoberfläche mit Luftbild

In 3ds max soll ein vorhandenes Luftbild des Raumausschnitts als Textur auf das DGM gelegt werden.

Allerdings stellt sich heraus, dass das Luftbild stark verzerrt wird, wenn es als Textur aufgebracht wird. Auch nach intensivem Studium div. Bücher zu 3ds max 5, hat der Autor dieses Problem nicht lösen können.



Abbildung 49: Unstimmigkeiten bei Synthese der Daten

[Menu](#) | [Daten/Modelle](#)

6.7.3 Bäume als Billboards

Die Standortinformationen der Bäume werden aus der in I-SiTE Studio gespeicherten Kreise in 3ds max als DXF-Datei importiert. In den Mittelpunkt dieser Kreise sollen Billboards (siehe Kapitel 5.1.7.2) gesetzt und mit einer Textur des jeweiligen Baums belegt werden.

Auch hier ergeben sich massive Schwierigkeiten, die DXF-Daten zu importieren, da bei der Umwandlung der Koordinaten in das lokale Koordinatensystem Kommastellen wegfallen. Das bewirkt eine Verschiebung einiger Kreise außerhalb des DGM. Nur eine Modellierung mit georeferenzierten kann das verhindern.

6.7.4 Infrastruktur aus Polygonzügen

Sämtliche Infrastruktur, die in I-SiTE Studio in DXF-Dateien gespeichert wird, soll nun in 3ds max importiert werden. Eventuell können die einzelnen Splines nochmals bearbeitet werden, zu Flächen verbunden werden und mit Farben oder Texturen versehen werden.

Es ergeben sich die gleichen Schwierigkeiten wie in Punkt 6.7.3.

6.7.5 Setzen von Lichtquellen

Für eine individuelle Ausleuchtung der Szene bieten sich in 3ds max viele Möglichkeiten auf, von einzelnen oder mehreren Spots bis zum simulierten Sonnenlicht.

6.7.6 Reduzierung des Datenvolumens

3ds max bietet eine Möglichkeit Netze und Grundkörper zu reduzieren. Mit dem Modifikator „Optimieren“ kann die Anzahl der Flächen und Scheitelpunkte in einem Objekt reduziert werden. Dadurch wird die Geometrie vereinfacht, ohne dass die Bildqualität allzu sehr beeinträchtigt wird. Eine Anzeige unter „Vorher/Nachher“ zeigt genaue Informationen über die Reduzierung an, während die Änderungen vorgenommen. Der Effekt von „Optimieren“ hängt von den Winkeln zwischen den Flächen ab. „Optimieren“ sollte nicht auf Bereiche angewendet werden, in denen geometrische Details beibehalten werden sollen, z.B. Bruchkanten

6.7.7 Export eines fertigen Modells

Letztendlich kann über die Exportfunktion in 3ds max in die einzelnen Formate exportiert werden. Einige Formate müssen, um ihre volle Funktionalität zu bekommen, noch nachbearbeitet werden, z.B. Cult3D im Cult3D Designer, Shockwave im Director 8.5.

Die Software 3ds max besitzt so viele verschiedene Funktionen, dass dem Autor keine ausreichende Einarbeitung während der Anfertigung der Master Thesis gelingt. Das Erstellen von kleineren Objekten in 3ds max stellt ist nicht das Problem, aber wohl die hunderten Eigenschaften und Möglichkeiten der importierten Objekte zu beherrschen. Der Autor kann kein ansprechendes fertiges Modell erstellen.

6.7.8 Stadtgrundkarte und DGM

Ein optionaler Schritt ist das Mischen der Szene mit der Stadtgrundkarte in 3ds max, wobei auf die fehlende dritte Dimension der Stadtgrundkarte geachtet werden muss. Entweder wird die Höhe der Stadtgrundkarte auf eine einheitliche Höhe gesetzt (z.B. nach einem bekannten Höhenpunkt im Modell) oder das DGM wird auf die Höhe null gesetzt.

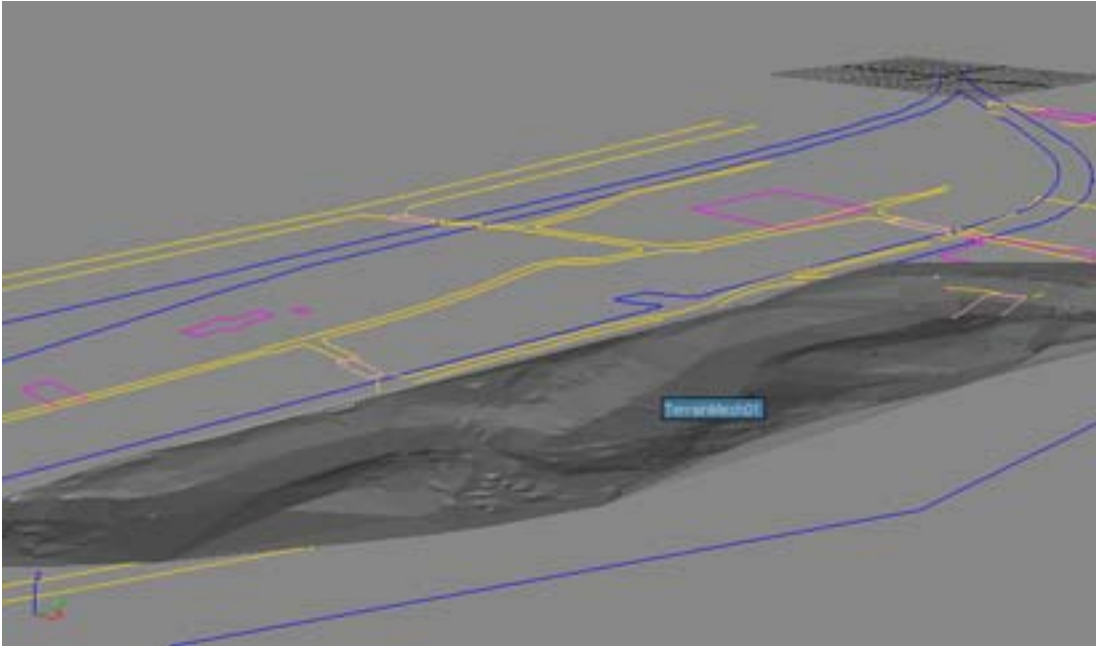


Abbildung 50: Modifizierte Stadtgrundkarte und importierte Geländeoberfläche

[Menu | Daten/Modelle](#)

6.8 Ergebnis

Trotz der Schwierigkeiten mit der Software 3ds max werden folgende Dateien angefertigt worden:

- DGM aus I-SiTE Studio im DXF- oder TXT-Format
- Geometriedaten der Infrastruktur aus I-SiTE Studio im DXF-Format
- DGM aus 3ds max in den Formaten TXT, MAX, DXF, DWG und VRML
- Modifizierte Digitale Stadtgrundkarte aus 3ds max im VRML-Format

[Menu | Daten/Modelle](#)

Der Autor geht davon aus, dass sehr wohl ein fertiges digitales Modell erstellt werden kann, sofern die Software 3ds max ausreichend beherrscht wird. Damit werden fast alle Thesen in diesem Bereich erfüllt:

- 3D-Geovisualisierungen sind möglich, sofern die jeweilige Software beherrscht wird (These drei)
- Das Datenvolumen kann reduziert werden (sowohl in I-SiTE Studio als auch in 3ds max) und die Downloadzeiten sind gering. Allerdings kann der Autor nicht feststellen, wie viel Datenvolumen ein fertiges Modell benötigt. Das optimierte DGM allein hat im VRML-Format ein Datenvolumen von nur 73 Kilobyte. Sofern bei einem fer-

tigen Modell die Texturen nicht allzu viel Datenvolumen benötigen, ist ein Datenvolumen von unter einem Megabyte für ein fertiges digitales Modell realistisch (These vier und fünf)

- Alle erfassten Geoobjekte konnten visualisiert werden (These sechs)
- Die Umwandlung der Laserscanner-Daten und der Geoobjekte aus 3ds max in das X3D-Format beweisen These sieben
- These acht wird zwar bewiesen, aber eine hochwertige Computerausstattung ist für effizientes Arbeiten definitiv sinnvoll. Diese ist ab ca. €2.000 anzusetzen.
- Eine volle individuelle Interaktivität bieten sowohl X3D, VRML als auch Cult3D. Alle die Formate lassen sich aus 3ds max exportieren. Aber lediglich X3D ist ohne zusätzliche Software darstellbar, sofern eine Java Laufzeit Umgebung installiert ist.

6.9 Datenfluss

MACH (2003-2) beschreibt den allgemeinen Datenfluss bei der Erstellung einer 3D-Visualisierung aus Geodaten in folgender Abbildung:

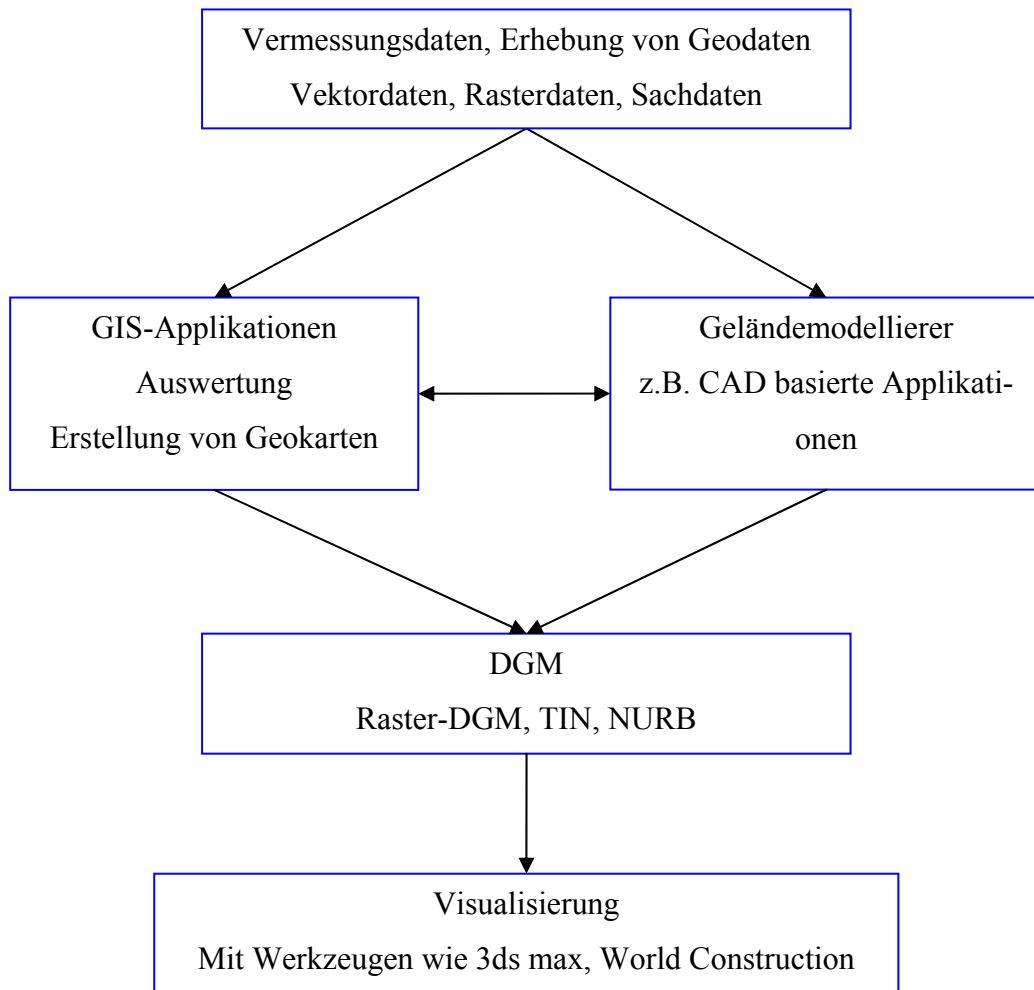


Abbildung 51: Gängiger Datenfluss bei der Erstellung einer 3D-Visualisierung aus Geodaten [MACH 2003-2, 113] (modifiziert)

Der Autor hat sich im Fallbeispiel für folgenden Datenfluss entschieden:

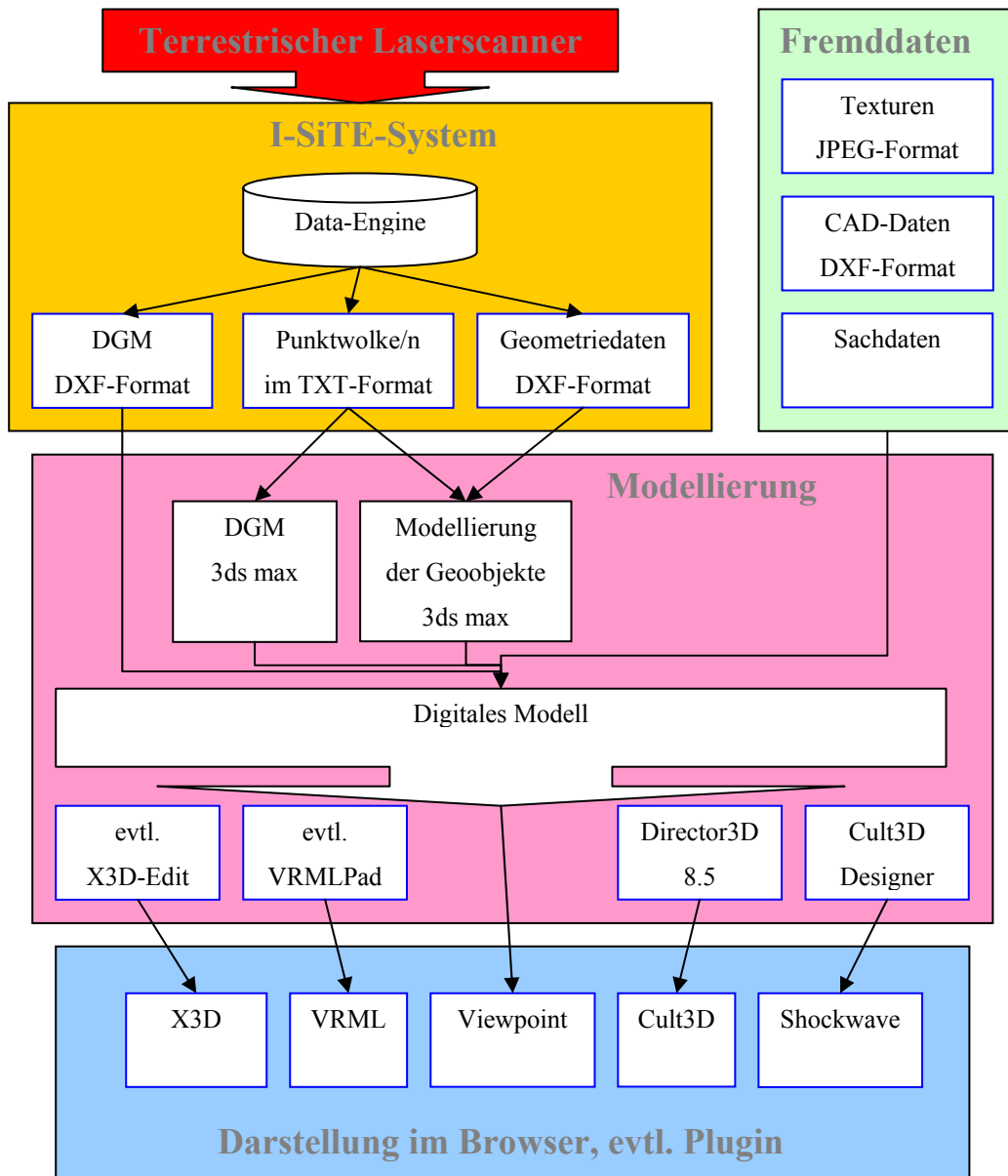


Abbildung 52: Datenfluss im Fallbeispiel

7 Kosten

7.1 Datenerfassung mit einem terrestrischen Laserscanner

Nach Auskunft des Ingenieurbüros Ostenrieder können die Arbeiten beim Laserscannen von einem Vermessungstechniker und einem Helfer durchgeführt werden. Bei dem Vermessungstechniker wäre ein Stundensatz zwischen €40 bis €50 anzusetzen bei dem Helfer ca. €30.

Bei der Auswertung kommt es stark darauf an, welches Ergebnis erwartet wird. Bei einer reinen Volumenabschätzung kann die Auswertung lediglich zwei bis drei Stunden dauern (Kosten ebenso bei €40-€50).

Die Gerätekosten schlagen mit einem Mietpreis pro Tag für die Software ca. €110, für den Scanner €500 incl. allen Zubehörs. Ein Tachymeter für die Einmessung der Aufstellungspunkte kostet zwischen 70€ und 100€ pro Tag.

7.2 Software zur Visualisierung

Auch nach sorgfältiger Recherche findet man unterschiedliche Preise pro Produkt, ist am nächsten Tag mit einem neuen Preis konfrontiert, findet unterschiedliche Lizenzierungsmöglichkeiten zu ein und demselben Produkt oder ein Händler stellt ein (sinnvolles) Bundle von verschiedenen Produkten zusammen, die das Einzelprodukt wieder billiger erscheinen lassen. Die angegebenen Preise sollen daher nur Richtwerte sein.

Hersteller	Produkt	Preis
@Last Software	SketchUp 3.0	US\$475,00
3D Nature	World Construction Set 6	US\$995,00
Apple	Quicktime VR	€40,60
Autodesk	Map 2004	€5.750,00
Corel	Draw 11	€694,84
Discreet	3ds max 6	€4.930,00
ESRI	ArcView+3D Analyst	€1.650,00
JASC	WebDraw	€189,00
Macromedia	Director 8.5	€1.466,00
I-SiTE Ltd.	I-SiTE Studio 2.2	US\$21.000,00
Parallel Graphics	Space Builder	US\$78,95

Parallel Graphics	VRMLPad	US\$149,95
Electric Rain	Swift 3D v.2	US\$295,00

Abbildung 53: Kostenvergleich der Software zur Bearbeitung von Modellen

Der Autor hat den Vorteil, dass er wesentlich günstigere Studentenversionen erwerben kann (z.B. 3ds max 5 für €105).

7.3 Vergleich mit anderen Methoden

Auch wenn die Erfassungsmethoden unterschiedliche Ansätze haben, so ist das Ergebnis doch bei allen gleich: die Erzeugung von Geometriedaten, aus denen digitale Modelle erstellt werden können. Dadurch muss auch ein Vergleich der Kosten zulässig sein.

Zwei Erfassungsverfahren sind für das Fallbeispiel geeignet: das terrestrische Laserscanning und die klassische Vermessung.

Bei der Erfassung vor Ort ist es in allen drei Verfahren sinnvoll einen Vermessungstechniker und einen Helfer einzusetzen. Für das terrestrische Laserscanning wird eine Erfassungsdauer vor Ort von vier Stunden angesetzt. Die klassische Vermessung benötigt wesentlich mehr Zeit, um exponierte Punkte einzumessen, insbesondere bei der Geländeoberfläche. Der Autor setzt für den Raumausschnitt im Fallbeispiel vier Tage an.

Dagegen können die erfassten Punkte der klassischen Vermessung sofort zu einer Visualisierung verwendet werden. Die Laserscanner-Daten bedürfen einer Nachbearbeitung. Um die Laserscanner-Daten aus dem Fallbeispiel für eine Visualisierung vorzubereiten, benötigt ein erfahrener Anwender drei Tage.

	Terrestrisches Laserscanning	Klassische Vermessung
Erfassung vor Ort	ca. 4 Stunden	mind. 4 Tage (abhängig von der Punktedichte)
Vorbereitung der Daten zur Visualisierung	ca. 3 Tage	keine
Geräte	€500/Tag (Riegl LMS-Z210)	€70-€100/Tag (Tachymeter)
Software	€110/Tag oder US\$21.000 (I-SiTE Studio)	€5.200 (Autodesk AutoCAD)

Abbildung 54: Geschätzter Aufwand und Kosten im Fallbeispiel

8 Anwendungsgebiete und Nutzer

Aufzählungen zu möglichen Anwendungsgebieten des Laserscannings gibt es bereits en masse. Im folgenden Abschnitt sollen lediglich die genannt werden, die von großmaßstäblichen 3D-Geovisualisierungen aus terrestrischen Laserscanner-Daten profitieren können. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass Auftraggeber und Ersteller aus dem professionellen Bereich stammen, wobei Nutzer sowohl aus dem professionellen wie auch dem privaten Bereich kommen können. Mit folgender Aufzählung soll These zehn bewiesen werden.

8.1 Kartografie

Mit der Laserscanning Technologie können kleinräumige Strukturen schnell erfasst werden, wie z.B. Wege, Geländestufen, Straßen, Gebäude, Plätze, Parkanlagen, etc. Die gewonnen Geodaten können den Anforderungen in der Nachbearbeitung angepasst und visualisiert werden und im entsprechenden Datenformat in kartografische Systeme und Datenbanken integriert werden. Der Umfang der Visualisierung hängt ebenso von den Anforderungen des Auftraggebers ab.

Beispielsweise könnte ein Gelände mit sehr unregelmäßigen Höhenstufen (ein Weinberggelände) dreidimensional erfasst werden. Je nach Anforderung können daraus lediglich ein DHM, die Modellierung einzelner Objekte (Wege, Abstand der Weinstöcke, etc.) oder auch ein komplettes Modell mit Texturierung entstehen.

8.2 Planung

In vielen Bereichen sind Geodaten als Planungsgrundlage oder Ergänzung zu bestehenden Daten notwendig: Umwelt-, Stadt-, Verkehrs-, Landschaftsplanung, etc.

Mit einem terrestrischen Laserscanner kann die Bestandaufnahme des Ist-Zustandes erfasst und somit als aktuelle Planungsgrundlage für ein Projekt verwendet werden. Laserscanner-Daten können andere Daten ergänzen oder können in Informationssysteme integriert werden. Damit wird die aktuelle Situation visualisiert und präsentiert. Eine Manipulation der aktuellen Situation in einem digitalen Modell kann die Situation einer

geplanten Szene darstellen, z.B. kann eine bisher nur „auf dem Papier“ existierende Straße in eine Szene eingefügt werden.

Nutzer von Laserscanner-Daten können alle Beteiligten in diesen Planungsbereichen sein. Die Nutzer von Visualisierungen können neben den Beteiligten am Planungsprozess z.B. Entscheidungsträger oder ein Teil der Bevölkerung sein, die dem Projekt zustimmen müssen, weil sie von den Planungen betroffen sind.

8.3 Geodatenbanken

Professionell erfasste und bearbeitete Laserscanner-Daten können in die zahlreichen vorhandenen Datenbestände in allen Bereichen integriert werden, z.B. in der Vermessung.

Die meisten Daten des deutschen Liegenschaftskataster werden derzeit noch in verschiedenen Informationssystemen (ALB, ALK) geführt und auch in unterschiedlichen Datenformaten ausgetauscht. Im Rahmen der bundesweiten Einführung von ALKIS soll zum Austausch von Informationen über eine Schnittstelle gemäß ISO 19118 XML eingesetzt werden. Diese normierte Austauschschnittstelle beschreibt ALKIS-Daten in einer ASCII-Datei unter Nutzung von XML- und GML-Formaten [GIS-REPORT-NEWS 2003]. Somit könnten auch Laserscanner-Daten in das Liegenschaftskataster aufgenommen werden.

8.4 Geomarketing

„Die Werbewirtschaft erobert ungebremst einen noch jungen Markt: Im Phantasieland der Computer- und Videospiele stecken Markenhersteller derzeit ihre Claims ab. Nokia, Coca-Cola, Amazon, McDonalds und div. Autohersteller sind nur einige Beispiele die zeigen, das Firmen aller Couleur und Branche in der Grauzone zwischen Bannerwerbung, Merchandising und Product Placement einen neuen Markt erschließen. Viele Spieler schätzen den realistischen Eindruck, wenn echte Produkte von echten Firmen in der Spielwelt auftauchen. So muss ein Werber sich das Paradies vorstellen. Die Zielgruppen sind aufgrund des Spiels sauber zu trennen, aber trotzdem klar den Anteil der Jüngeren der Bevölkerung zuzurechnen“ [DER SPIEGEL 37/2003, 184f.].

Die Objekte die in einem Computerspiel erscheinen sollen, könnten auch mit einem Laserscanner erfasst werden, beispielsweise das Gelände einer Tankstelle. Der Spieler

„tankt“ virtuell in seinem Computerspiel an einer Tankstelle, die ein Abbild einer realen Tankstelle einer Marke ist. Durch den Wiedererkennungswert in der Realität könnte damit eine Kundenbindung zu dieser bestimmten Marke geschaffen werden. Da viele Tankstellen gemäß der firmeneigenen Corporate Identity gestaltet sind, würde es ausreichen eine Tankstelle exemplarisch zu erfassen.

Der Zusammenschluss mehrerer Werbetreibender, z.B. ein Gewerbepark oder eine Shoppingmall, die ein virtuelles Modell erstellen lassen, bringen dem Kunden einen Mehrwert.

Auch ein öffentlicher Auftraggeber kann z.B. ein für Touristen fokussiertes Innenstadtmodellen erstellen lassen. Virtuelle Modelle von Parkanlagen, Museen, Kirchen oder einem Zoo, können dem (potentiellen) Besucher Informationen vermitteln. Beispielsweise könnte das Gelände eines Tiergartens/Zoos dreidimensional visualisiert werden. Der Nutzer kann über das Internet oder durch Bildschirme vor Ort den Tiergarten durchwandern auf durch anklicken bestimmter Objekte (Häuser, Anlagen, Tiere) Informationen abfragen.

Visualisierungen mit Laserscanner-Daten als Grundlage können auch kurzfristige bauliche Veränderungen oder Umgestaltungen von Landschaften schnell umsetzen.

8.5 Infotainment

Infotainment ist ein Marketingkunstwort aus „Information“ und „Entertainment“ und damit eine Kombination aus unterhaltenden und informierenden Elementen. Fakten werden durch Showelemente aufgelockert und sollen der Theorie nach dadurch eingängiger gemacht werden.

Der Nutzer durchwandert eine virtuelle Welt in der Art eines Computerspiels. Im Sinne eines Gewinnspiels, kann der Nutzer nach erfolgreicher Absolvierung einiger „Aufgaben“ tatsächlich etwas gewinnen. Dabei nimmt er Informationen aus dieser virtuellen Welt auf und lernt dabei unbewusst Elemente dieser Welt kennen.

Diese Elemente können z.B. Autos sein und die virtuelle Welt z.B. das Gelände eines Autohauses. Dem Nutzer werden interaktiv und visuell seine potentiellen Produkte und deren Verkäufer dargestellt.

Mit Hilfe der Erfassung von Objekten mit einem Laserscanner lassen sich solche „Aktionen“ zeitnah umsetzen, was in der schnelllebigen Geschäftswelt immer öfter gefordert wird.

8.6 Unfallszenarien

Die Technik des Laserscannings kann zur Beweissicherung bei Massenkarambolagen auf einer Autobahn, Zuganglücken, Lawinen, Erdbeben, etc. benutzt werden. Anwender könnte in diesen Fällen die Polizei oder ähnliche Institutionen sein. Ein Scanner kann schnell zum Einsatz kommen, was sehr hilfreich zum späteren Nachvollziehen des Unfallhergangs beitragen kann.

8.7 Restauration, Archäologie und Denkmalpflege

Ähnlich der Vorgehensweise bei Planungen, kann der Ist-Zustand, z.B. von Ausgrabungen oder Ruinen mit einem Scanner erfasst werden. Darauf aufbauend und unter Zuhilfenahme von Fremddaten kann der Originalzustand in einem Modell visualisiert werden. Auch eine Erfassung von schwer zugänglichen oder empfindlichen Objekten ist mit einem Scanner hilfreich.

Anwender können z.B. Denkmalpflegerische Einrichtungen, Archäologen, Museen, Kirchen oder Eigentümer von solchen Objekten sein. Sie können die Vorzüge der exakten Archivierung und interaktiven Präsentation solcher Objekte nutzen.

9 Resultate

Die Erfassungsmethode, die Visualisierungstechniken, die Datenformate, etc. sind alle aus verschiedenen Fachgebieten (u.a. Computergrafik, CAD, GIS) zusammen gesammelt und damit nichts wirklich „Neues“.

Die Erkenntnis dieser Arbeit liegt darin, zu zeigen, dass diese verschiedenen Methoden und Techniken im Bereich der Geovisualisierungen anhand des praktischen Beispiels anwendbar sind.

9.1 Erfassung

Der entscheidende Vorteil des terrestrischen Laserscannings ist die Aktualität der Laser-scanner-Daten. Die schnelle Erfassung vor Ort und die sofortige Verfügbarkeit der Punktwolke in der Software hebt diese Methode von den anderen ab. Der Hauptvorteil der Erfassungstechnik des terrestrischen Laserscannings liegt in der Geschwindigkeit der Datenaufnahme sowie der Vollständigkeit, mit der dreidimensionale Daten erfasst werden können.

Eine Messung/Aufnahme im Gelände erfordert viel Erfahrung im Umgang mit dem Gerät. Die Fehlerabschätzung für das Laserscanning bedarf sehr guter vermessungstechnischer Kenntnisse.

Laserscanner-Daten enthalten keine Sachdaten und auch das im Fallbeispiel verwendete I-SiTE System bietet keine Möglichkeit zur Attributisierung von Daten.

Laserscanner-Daten sind nicht nur zur ingenieurtechnischen Vermessung oder Volumenberechnung zu gebrauchen, sondern auch als schnell zu erstellende Grundlage zur Visualisierung von Landschaften, Architektur und Urbanen Räumen.

Terrestrisches Laserscanning sollte nicht als Konkurrenz zu anderen Erfassungsmethoden gesehen werden, sondern als Ergänzung zu diesen Verfahren. Je nach Anforderung an die Visualisierung kann eines oder mehrere der beschriebenen Verfahren angewandt werden. Der Maßstabbereich der Visualisierung ist durch die technischen Voraussetzungen des Scanners festgelegt und grenzt sich dadurch teilweise von anderen Erfassungsmethoden ab.

9.2 Nachbearbeitung

„Da die Scantechnik trotz kurzer Erfassungszeiten sehr umfangreiche Datenmengen liefert, müssen jetzt Verfahren entwickelt werden, die eine Reduktion der Daten ohne wesentlichen Informationsverlust ermöglichen.“ [MARBS 2003, 13].

„3-D-Laserscan-Systeme ermöglichen eine äußerst rasche und genaue 3-D-Vermessung von Objekten bis hin zu ganzen Landschaftsszenen. Mittlerweile steht eine Reihe unterschiedlicher Geräte zur Verfügung. Jedes dieser Geräte hat spezifische Stärken und Schwächen, keines deckt alle Anwendungsbereiche ab. Ihre Vielfalt ermöglicht, dass kaum ein Objekt, von Michelangelos David (1999 mit einer Genauigkeit von 0,25 Millimeter vermessen) bis hin zur Ölplattform vor der Küste der Vereinigten Staaten (2000 mit einer Genauigkeit von 0,6 Millimeter vermessen) sich ihrem tastenden Strahl zu entziehen vermag. Dringend notwendig ist die Adaption und Weiterentwicklung der Softwareprodukte zur Verarbeitung der Daten in CAD-taugliche Volumen- und Flächenmodelle. Die aus Millionen 3-D-Punkten konstruierten Modelle stellen nahezu perfekte Abbilder der Originale dar, der zeitliche Aufwand, um sie daraus zu generieren, ist aber beträchtlich“ [DUMFAHRTH 2001, 18].

Der limitierende Faktor ist nicht die Erfassung, sondern die Nachbearbeitung der großen Datenmengen. Abhängig von den Anforderungen und den erfassten Objekten kann eine Visualisierung in wenigen Stunden erstellt werden, bei großen Datenmengen, komplexen Objekten und umfangreicher Modellierung kann es aber auch mehrere Wochen dauern. Anwendungen, wie z.B. I-SiTE Studio, besitzen bereits viele Funktionen, die eine Nachbearbeitung vereinfachen und automatisieren. Auch kommen bei jedem neuen Release der Software wichtige Neuerungen hinzu. Trotzdem bedeutet eine Nachbearbeitung noch viel manuelle Arbeit, die die Kosten steigen lassen.

9.3 Visualisierung

Mit dem heutigen Stand der Technik ist eine schnelle und genaue Erstellung und Darstellung von DHM, DGM und DOM z.B. ausschließlich mit dem I-SiTE System kein Problem. Eine weitergehende Modellierung einer Szene zu einer kompletten virtuellen Welt erfordert neben viel Wissen und Erfahrung in der Thematik ein zusätzliche professionelle 3D-Software (oder Landschaftsmodellierer).

Großmaßstäbliche 3D-Geovisualisierungen mit der Grundlage aus Laserscanner-Daten, können als Ergänzung zu den üblichen kleinmaßstäblichen Visualisierungen bestehen. Terrestrische Laserscanner können so „kleine“ Objekte erfassen (Blumen, Details von Menschen), dass daraus entwickelte Visualisierungen schon nicht mehr als Geovisualisierungen bezeichnet werden können. Visualisierungen aus Laserscanner-Daten besetzen eine Nische am unteren Ende des Maßstabsbereichs der Geovisualisierung, die mit anderen Methoden nicht oder schlecht erfasst werden können.

Eine vom Autor durchgeführte (sicherlich nicht repräsentative) Umfrage per E-Mail unter 10 Unternehmen, die sich mit Geovisualisierungen beschäftigen, hat ergeben, dass immerhin drei bereits mit Laserscanner-Daten gearbeitet haben. Hauptsächlich wurden Laserscanner-Daten für DHM verwendet. Die Schweizer Firma Geonova hat sich intensiv mit dem Thema Laserscanning befasst, ist aber mit der Qualität der Daten („Rauheit der Oberfläche“) nicht zufrieden. Das zeigt, dass lediglich die Möglichkeiten zur Nachbearbeitung noch eingeschränkt sind.

In Landschaftsarchitekturbüros wird überwiegend mit digitalen Daten gearbeitet, auch dreidimensionalen Daten. Die Erstellung von digitalen 3D-Visualisierungen scheitert aber meist an der Erfahrung der Mitarbeiter mit der Software, oder es ist gar keine Software vorhanden. In Landschaftsarchitekturbüros sind 3D-Geovisualisierungen als Kommunikationsinstrument durchaus gefragt. Für den Großteil der Projekte, wären die Kosten für die Erstellung von Visualisierungen aber höher als die eigentlichen Projektkosten. Der Anlass für eine Visualisierung müsste also entsprechend gegeben sein, z.B. eine Ausstellung, eine Messe oder eine Präsentation, wenn die Öffentlichkeit oder ein großer Personenkreis Interesse daran hat. Für Genehmigungen müssen auch Stempel und Unterschriften auf Pläne, dass in virtuellen Modellen schwierig umzusetzen ist. Einen Plan kann auch jederzeit überall hin mitgenommen. Für die Vorstellung von CD wird immer die geeignete Technik und Software benötigt, was für viele Situationen viel zu kompliziert ist. 3D-Geovisualisierungen sind also z.Z. ein „nice-to-have“, aber in der Praxis aus verschiedenen Gründen nicht notwendig und/oder wirtschaftlich.

Für den durchschnittlichen Internetnutzer lassen sich heutzutage High-End-Visualisierungen nicht via Internet transportieren. Durch Reduktion und Optimierung lassen sich aber Low-Polygon-Modelle erstellen, die für den Nutzer akzeptable Downloadzeiten zulassen. Der Nachteil von georeferenzierten Daten ist das deutlich höhere Datenvolumen. Daher sollte vor der Erstellung einer Modells oder eines DGM's entschieden werden, ob georeferenzierte Daten unbedingt notwendig sind. Die Genauigkeit

der Laserscanner-Daten lässt eine High-End-Visualisierung zu. Wobei eine Informationsvisualisierung meist nicht den Fokus auf korrekte Maße oder aufwendige Grafik hat, sondern eher auf der qualitativ richtigen Darstellung einer Szene.

Die ständige Gratwanderung zwischen Abstraktion/Reduzierung und Realitätsnähe kann schematisch so dargestellt werden:

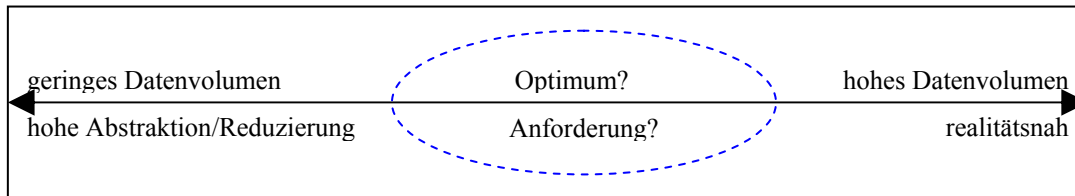


Abbildung 55: Gratwanderung zwischen Abstraktion und Realitätsnähe

Die eingesetzte 3D-Software 3ds max ist ein sehr gutes und mächtiges Tool, um dreidimensionale Laserscanner-Daten zu einer virtuellen Welt zusammenzufügen. Es gibt viele Importmöglichkeiten, Daten können professionell bearbeitet werden, Daten können optimiert/reduziert werden und es kann anschließend in viele 3D-Formate exportiert werden (z.B. VRML, Cult3D, Viewpoint, X3D, Shockwave3D, DXF, DWG, Lightscape, IGES, Quicktime, Computerspielformate, etc.). 3ds max hat m.E. nur drei Nachteile: die Schwierigkeiten mit georeferenzierten Daten, den hohen Preis und die nötige langwierige Einarbeitung. Trotzdem ist die Software für jegliche Art von Visualisierung bestens geeignet.

Macromedias Dreamweaver MX mit der X3DWeaver Extension wird eine sehr gute Autorenumgebung für das Einbetten von X3D-Modellen in Webseiten sein. Der Preis ist auch für Privatanwender erschwinglich. Durch den WYSIWYG-Aufbau ist die Anwendung schnell lern- und einsetzbar.

Das Format X3D ist zwar noch in der Entwicklung, steht aber kurz vor der Normierung. Software und Tools zu diesem Format beginnen sich zu verbreiten und wird durch den offenen und genormten Standard ähnlich wie VRML sehr schnell vorangehen.

Dadurch das X3D auf XML basiert, kann das Format auch außerhalb der „3D- oder Grafikwelt“ weiter verwendet werden, z.B. im Electronic Business Bereich in ERP-Systemen (Electronic Resource Planning). Diese Wiederverwendbarkeit von Geodaten in vielen Bereichen der EDV wird den Mehrwert und die Nachfrage nach Geodaten erheblich steigern.

Durch den Aufbau von Geodateninfrastrukturen wird künftig der interoperable, anbieter- und systemübergreifende Zugriff auf Geodaten ermöglicht. Während die Entwick-

lungen für den Bereich zweidimensionaler Geodaten bereits weit vorangeschritten sind, steht der 3D-Bereich noch am Anfang [GRÖGER 2003, 325].

3D-Geovisualisierungen im X3D-Format würden sehr gut in das Konzept der dienstebasierten Architekturen der OGC passen. X3D ist z.B. in den Web Terrain Service (WMS) der OGC integrierbar. Der WMS Service ist bereits in der Software Autodesk MapGuide bereits integriert.

Eine serverseitige Erzeugung von Visualisierungen über das Internet, bei der nur die Daten zum Nutzer übertragen werden, die er zur Ansicht benötigt (wie z.B. in der Viewpoint Technologie realisiert), reduziert die zu übertragende Datenmenge enorm.

9.4 Thesen

Alle in Kapitel 2.2 aufgestellten Thesen können im Idealfall umgesetzt werden. Trotzdem kann auch die hier vorgestellte Vorgehensweise gegenüber anderen Methoden nachteilig sein. Das ist abhängig von den Anforderungen an die Aufnahmetechnologie und der gewünschten Visualisierung.

BRUSCHKE hat für die Aufnahmetechnologie einige Kriterien entworfen:

- Umgebungsbedingungen (Verweildauer, Erreichbarkeit, Sicherheit)
- Objektanforderungen (Größe, Komplexität, Informationsdichte)
- Aufgabenstellung (Genauigkeit, Generalisierung)
- Auswertung (Interpretation, Objektbildung, Zusatzinformation) [BRUSCHKE 2002, 166]

Die Visualisierung wird immer so realitätsnah wie möglich angestrebt.

Limitierender Faktor ist daher einzig das hohe Datenvolumen, das eine webbasierte Visualisierung momentan unmöglich macht.

9.5 Ausblick

Der soeben erwähnte limitierende Faktor der Datenübertragung über das Internet, könnte sich in naher Zukunft auflösen. Die sich allmählich verbreitende DSL-Technologie ermöglicht heute bereits eine ca. 20-mal so schnelle Datenübertragung wie mit einem 56k-Modem. Damit können webbasierte 3D- Geovisualisierungen realitätsnäher visualisiert werden.

Im Hinblick auf die Bestrebungen, Datenformate offen zugänglich zu machen und zu standardisieren, ist diese aktuelle Meldung im Golem-Newsticker aufgefallen, die leider typisch für die derzeitige Software-Industrie ist:

„Auf seiner Professional Developers Conference (PDC) im Oktober 2003 gab Microsoft einen Ausblick auf kommende Technologien, darunter auch die Hauptbestandteile seines kommenden Desktop-Betriebssystems mit Codenamen Longhorn. Es scheint, als würde Microsoft dabei einmal mehr offizielle Standards gekonnt umschiffen und stattdessen eigene Formate verwenden. So preist Microsoft in Unterlagen, die im Microsoft Developer Network (MSDN) veröffentlicht wurden, die Fähigkeiten von Avalon, der Präsentationstechnologie von Longhorn, Vektorgrafiken darzustellen. Statt auf den von W3C verabschiedeten Vektorgrafikstandard SVG setzt Microsoft aber auf ein "Windows Vector Graphics" (WVG) getauftes Format, das, so Microsoft, eng an SVG angelehnt ist. WVG soll sich so besser in das Objektmodell von Avalon einbinden lassen und dennoch SVG-Entwicklern vertraut vorkommen. Auch die definierten Vektorgrafik-Formen sind SVG entnommen.“ [golem.de, <http://www.golem.de>, 26.11.2003].

Literaturverzeichnis

3DS MAX: Benutzerreferenz. Discreet 3ds max 5 (Software)

BRUSCHKE, Andreas (2002): Tachymetrie zwischen Laserscanning Photogrammetrie oder – welche Alternativen gibt es bei der Anlagenvermessung? In: Photogrammetrie und Laserscanning. Heidelberg: Wichmann

BUCHROITHNER, Manfred (2002): 3D-Visualisierung von Geodaten: Gegenwart und Zukunft. URL: <http://www.mplusm.at/ifg/Buchroithner.pdf> (20.11.2003)

BUHROW, Thomas (2002): Genauigkeitsuntersuchungen von Laserscannermessungen am Beispiel des I-SiTE 3D Laser Imaging Systems. Berlin: TU Berlin, Inst. für Geodäsie und Geoinformationstechnik. Dipl.-Arbeit (unveröff.)

CEGI (2003): CeGi GmbH und OGC Europe unterzeichnen Memorandum of Understanding. URL: <http://www.cegi.de/index.php?id=26&objId=29> (20.11.2003)

DORAU, Ursula (1997): Computergestützte 3D-Visualisierung in der Landschaftsplanung – ein Vergleich der Anwendbarkeit unterschiedlicher Visualisierungssoftware im mittleren Maßstabbereich. Wien: Univ. für Bodenkultur, Inst. für Freiraumgestaltung und Landschaftspflege. Dipl.-Arbeit (unveröff.)

DUMFAHRTH, Erich (2001): Die Welt in drei Dimensionen – Vermessung mit 3-D-Laserscan-Systemen. In: GeoBIT. 10/2001

ERVIN, Stephen (2001): Landscape modeling – digital techniques for landscape visualization. New York: McGraw-Hill

FIBINGER, Iris (2002): SVG-Scalable Vector Graphics – Praxiswegweiser und Referenz für den neuen Vektorgrafikstandard. München: Markt+Technik

GIS-REPORT-NEWS (2003): E-Mail-Newsletter. Ausgabe 27/2003, vom 24.11.2003. Karlsruhe: Bernhard Harzer Verlag GmbH

GRÖGER, Gerhard (2003): Interoperabilität in einer 3D-Geodateninfrastruktur. Bonn: Inst. f. Kartographie und Geoinformation. URL: www.ikg.uni-bonn.de/sig3d/docs/GI-Tage2003_Groeger_und_Kolbe.pdf (20.11.2003)

HAMMA, Jochen (2003): Erste Schritte zu Echtzeit-Spieleumgebung. In: Digital Production. 5/03

JOBST, Markus (2002): 3D-Kartographie als Voraussetzung für besser verständliche Präsentation raumbezogener Daten. In: CORP 2002 – Geo Multimedia. Vol. 2. Wien

KERN, Fredie (2003): Automatisierte Modellierung von Bauwerksgeometrien aus 3D-Laserscanner-

- Daten. In: Photogrammetrie, Laserscanning, optische 3D-Messtechnik. Heidelberg: Wichmann
- LANGE, Eckart (2001): Visualization in Landscape Planning – Where we have been, where we are now and where we might go from here. In: Trends in GIS and Virtualization in Environmental Planning Design. Heidelberg: Wichmann
- LENNE 3D (2003): Lenné 3D Projektinfo URL: <http://www.lenne3d.de> (23.10.2003)
- MACH, Rüdiger (2000): 3D Visualisierung – Optimale Ergebnispräsentation mit AutoCAD und 3d Studio MAX. Bonn: Galileo Design
- MACH, Rüdiger (2003-1): 3ds max 5 – Grundlagen und Praxiswissen. Bonn: Galileo Design
- MACH, Rüdiger (2003-2): Grundlagen zur Visualisierung von Geländedaten. In: Digital Production. 5/2003
- MACH, Rüdiger (2003-3): Visualisierung von Geländedaten in 3ds max. In: Digital Production. 6/2003
- MARBS, Andreas (2003): Über Altes und Neues – 3-D-Scanning im Bereich der Denkmalpflege. In: GeoBIT 11/2003
- NIEMEIER, Wolfgang (2002): 3-D-Geometrieerfassung mit terrestrischen Laserscannern. In: Photogrammetrie und Laserscanning. Heidelberg: Wichmann
- OSTENRIEDER, Moritz (2003-1): Das I-SiTE Laservermessungssystem. Grünwald: Ing.-Büro Ostenrieder URL: <http://www.ostenrieder.de> (20.11.2003)
- OSTENRIEDER, Moritz (2003-2): Die I-SiTE Software. Grünwald: Ing.-Büro Ostenrieder URL: <http://www.ostenrieder.de> (20.11.2003)
- OSTENRIEDER, Moritz (2003-3): Spezifikationen der I-SiTE Software. Grünwald: Ing.-Büro Ostenrieder URL: <http://www.ostenrieder.de> (20.11.2003)
- OSTENRIEDER, Moritz (2003-4): The 3D Laser Imaging Sensor RIEGL LMS-Z210. Grünwald: Ing.-Büro Ostenrieder URL: <http://www.ostenrieder.de> (20.11.2003)
- RECHENBERG, Peter (2002) Hrsg.: Informatik-Handbuch. München: Hanser
- SCHAUPPENLEHNER, Thomas (2002): Interaktive Landschaftsvisualisierung auf Basis von VRML in Entwurfs- und Entscheidungsprozessen. Wien: Univ. für Bodenkultur, Inst. für Freiraumgestaltung und Landschaftspflege. Dipl.-Arbeit (unveröff.)
- SCHMUNDT, Hilmar (2003): McDonald's im Phantasieland. In: Der Spiegel. 37/2003, vom 8.9.2003
- SONDERSHAUS, Ralf (2001): ArcIMS 3D-Extension: Interaktive 3D-Visualisierung für den Arc Internet Map Server. Tübingen: MagicMaps GmbH
- STROBL, Josef (2002): Georeferenced Internet Communications in a Geoinformation Society. In: Trends

in GIS and Virtualization in Environmental Planning Design. Heidelberg: Wichmann.

THALMANN, Timo (2003): Landschafts- und Architekturvisualisierungen – „Ein GIS schafft so etwas nicht“. In: BusinessGeomatics. 5/2003, vom 14. 07.2003

TIDWELL, Doug (2002): XSLT. Köln: O'Reilly

WOYTOWICZ, Detlev (2002): 3-D-Geometrieerfassung von Anlagen und Gebäuden mit Hilfe der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie. In: Photogrammetrie und Laserscanning. Heidelberg: Wichmann

Abkürzungsverzeichnis

API	Advanced Programming Interface
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
AVI	Audio Video Interleaved
CAD	Computer Aided Design
DGM	Digitales Geländemodell
DHM, engl. DEM	Digitales Höhenmodell
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DOM	Digitales Oberflächenmodell
GIF	Graphics Interchange Format
GIS	Geographisches Informations System
ISO	International Standards Organization
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LOD	Level of Detail
NURBS	Non Uniform Rational B-Splines
OGC	Open GIS Consortium
PNG	Portable Network Graphics
SVG	Scalable Vector Graphics
TIN	Triangulated Irregular Networks
USGS	United States Geological Services
VRML	Virtual Reality Markup Language
W3C	World Wide Web Consortium
Web3D	Arbeitsgruppe des W3C
WMS	Web Terrain Service
WWW	World Wide Web
X3D	Extensible 3D
XML	extensible Markup Language
XSLT	Extensible Stylesheet Language Transformation