

Master Thesis

im Rahmen des

Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Zentrum für Geoinformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

„Konzeption eines virtuellen Stadtmodells“

vorgelegt von

Dipl.-Ing. (FH) Michael Schiebold
U1235, UNIGIS MSc Jahrgang 2005

Zur Erlangung des Grades
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Erfurt, 31. August 2007

Vorwort

Zwei Elemente bestimmten die Themenwahl der vorliegenden Master Thesis. Auf der einen Seite steht das Interesse für die offenbar immer rasanter fortschreitende Entwicklung dreidimensionaler Stadtmodelle, auf der anderen Seite die tiefe Verbundenheit mit meiner Heimatstadt Plauen im Vogtland.

Allen Freunden und Verwandten, die in den zurückliegenden zweieinhalb Jahren mit mir nachsichtig waren, sei an dieser Stelle ganz herzlich Danke gesagt, vor allem meiner Kommilitonin Christiane Richter, die mir mit Engelsgeduld über die Klippen des Textverarbeitungsprogramms geholfen hat.

Besonderer Dank gebührt meinen Eltern, ohne deren Unterstützung mir die Durchführung des Studiums nicht möglich gewesen wäre.

Vielen Dank sage ich allen, die mir diese Arbeit durch die Bereitstellung von Daten, Software und Technik ermöglicht haben, insbesondere Herrn Grimm und seinen Mitarbeitern im Amt für Geoinformation in Plauen, Herrn Bachhuber (ESRI Deutschland), Herrn Drießen (3D Geo), Herrn Goncalves (Google Deutschland), Herrn Nebel (HILTI), Herrn Jung und Herrn Werner (virtualcitysystems).

Ganz besonders bedanke ich mich bei Herrn Professor Dr. Josef Strobl, Herrn Michael Fally und Frau Erika Blaschke für die durchweg professionelle Betreuung während des gesamten Universitätslehrganges. Die angenehme Art der Wissensvermittlung in Form von UNIGIS haben die Erwartungen, mit denen ich im Jahre 2005 dieses Studium begann, weit übertroffen.

Erklärung über die Eigenständigkeit der Arbeit

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat.

Alle Ausführungen der Arbeit die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden sind entsprechend gekennzeichnet.

31. August 2007

Michael Schiebold

Kurzfassung

Virtuelle Stadtmodelle bieten den Vorteil, dreidimensionale räumliche Daten verarbeiten und visualisieren zu können. Bei der Lösung kommunaler Aufgaben können sie dabei wertvolle Unterstützung sein. Mit CityGML steht für diese Systeme inzwischen ein interoperables Datenmodell zur Verfügung, das neben den Geometriedaten der 3D-Modelle auch deren semantischen und topologischen Eigenschaften abbilden und verlustfrei übertragen kann. In dieser Master Thesis wird eine Konzeption für die Etablierung eines virtuellen Stadtmodells am Beispiel eines Planungsgebietes einer kreisfreien Stadt erarbeitet.

Abstract

Virtual city models provide the advantage to manage and visualize spatial data. They can be a far-reaching support for solutions of the local authority. With CityGML now exists a data model with an interoperable approach that not only stores geometric information, but also respects the semantic and topological relationships between spatial data without loss of information in case of transferring these data. In this thesis will be exemplify a concept to establish a virtual city model for a planned area in an average size town.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	
Erklärung über die Eigenständigkeit der Arbeit	
Kurzfassung	
Abstract	
Inhaltsverzeichnis	
Abbildungsverzeichnis	
Tabellenverzeichnis	
Abkürzungsverzeichnis	
1 Einführung.....	1
1.1 Motivation	1
1.2 Aufgabenstellung.....	6
1.3 Struktur der Arbeit.....	6
2 Begriffe und theoretische Betrachtungen	8
2.1 Der Modellbegriff.....	8
2.2 Dreidimensionale Stadtmodelle.....	10
2.3 Virtuelle Stadtmodelle.....	11
2.4 Digitale Geländemodelle	16
2.5 Interoperabilität und Standardisierung	19
2.5.1 CityGML.....	23
2.5.2 BIM und IFC.....	30
2.5.3 Vergleich von IFC und CityGML.....	32
2.5.4 Andere relevante Formate im 3D-Umfeld	38
2.6 Weiterführende Konzepte.....	41
2.6.1 Smart Buildings	41
2.6.2 Smart Terrain	42
3 Lösungsansatz	47
4 Projektkonzept <i>Plauen</i> ³	49
4.1 Projektstruktur	50
4.2 Ausgangsdaten.....	52
4.3 Digitales Geländemodell	54
4.4 Terrestrische Erfassung von Gebäudehöhen	61
4.5 Texturen.....	65
4.6 Planungsdaten.....	68
4.7 Gebäudemodellierung mit CAD.....	71
4.8 Visualisierung in Projektphase 1	82
4.9 Datenmodell	85
4.9.1 Das CityGML-Datenmodell.....	85
4.9.2 Modellierung mit CityGML am Beispiel.....	93
4.10 3D-Geodatenbank.....	101
4.11 Gebäuderekonstruktion aus 3D-Daten.....	102
4.12 Visualisierung in Projektphase 2	106
4.13 Systemarchitekturen	108
5 Ergebnisse	110
6 Interpretation der Ergebnisse	112
7 Rückblick und Ausblick	114
Quellen.....	115
Software	117
Datenquellen	118

Abbildungsverzeichnis

Titel	Modell des Rathauskomplexes Plauen in unterschiedlichen LOD	
Abbildung	René Magritte, Der Verrat der Bilder, 1928/29, Quelle: [1].....	8
Abbildung 1	Stadtmodell Köln, Quelle [2].....	10
Abbildung 2	Digitales Geländemodell.....	15
Abbildung 3	DGM mit Textur.....	15
Abbildung 4	Klötzchenmodell, Beispiel Planungsgebiet.....	15
Abbildung 5	LOD3: Gebäude vor dem Fenster, LOD4: innerhalb.....	16
Abbildung 6	TIN aus Höhenlinien mit paralaktischen Dreiecken.....	18
Abbildung 7	Terasseneffekt, Draufsicht.....	18
Abbildung 8	Terasseneffekt.....	18
Abbildung 9	Interoperabilität von Systemen Quelle: (Carosio 2005).....	20
Abbildung 10	FZK-Haus in LandXplorer.....	33
Abbildung 11	FZK-Haus in IFC Explorer.....	33
Abbildung 12	Features im IFC Explorer.....	34
Abbildung 13	KML-Schema.....	39
Abbildung 14	UML-Diagramm für SmartBuilding.....	41
Abbildung 15	Straßeneinmündung als TIN.....	43
Abbildung 16	3D-Modellierung mit ArcScene.....	44
Abbildung 17	Systemüberblick für die automatisch Konstruktion Städtischer Terrain Modelle (Quelle: Buchholz et al. 2006).....	45
Abbildung 18	Mind Map der zu bearbeitenden Themen im Projektkonzept <i>Plauen</i> ³	47
Abbildung 19	Projektstrukturplan des Projektkonzepts <i>Plauen</i> ³	51
Abbildung 20	Profilpunkte im Gleisbereich.....	55
Abbildung 21	Straßenstruktur im TIN.....	55
Abbildung 22	unrealistischer Visualisierungseffekt.....	56
Abbildung 23	TIN aus Höhenlinien mit Gebäudegrundrissen.....	56
Abbildung 24	Überlagerungseffekt zweier Layer.....	57
Abbildung 25	Featurekonvertierung.....	57
Abbildung 26	kein Überlagerungseffekt.....	57
Abbildung 27	DGM2.....	58
Abbildung 28	DGM2 texturiert.....	58
Abbildung 29	Bruchkantentest Teil 1.....	59
Abbildung 30	Bruchkantentest Teil 2.....	59
Abbildung 31	Textur in verschiedenen Ansichten: links Flußbett, Mitte Kerbtal, rechts Straßenverlauf.....	60
Abbildung 32	Gebäudebauteile.....	61
Abbildung 33	Gebäude mit innen liegender Traufe.....	63
Abbildung 34	Gebäudeteile, Quelle: (Gröger et al. 2007).....	64
Abbildung 35	verschiedene Texturen.....	66
Abbildung 36	Giebeltextur ohne Entzerrung.....	67
Abbildung 37	korrekt texturierter Giebel.....	67
Abbildung 38	Entzerrungstool in GIMP2.....	68
Abbildung 39	DXF-Layer.....	70
Abbildung 40	LOD1 extrudierte Gebäude in ArcScene.....	72
Abbildung 41	Werkzeugleiste mit ScetchUp PlugIn.....	74
Abbildung 42	Artefakte.....	74
Abbildung 43	korrekte Interpretation.....	74

Abbildung 44 Geländemodell und Grundriss auf "Höhe Null"	75
Abbildung 45 "Fußabdruck"-Tool	77
Abbildung 46 Durchdringung	77
Abbildung 47 erzeugter Sockel.....	77
Abbildung 48 Schnittlinie kann als TIC interpretiert werden.....	77
Abbildung 49 Sockel nach Bearbeitung.....	77
Abbildung 50 realer Sockel.....	77
Abbildung 52 Blick aus Modell	78
Abbildung 53 Blick aus Fenster	78
Abbildung 54 Gaubenkonstruktion	80
Abbildung 55 CAD-Ansicht	80
Abbildung 56 Modell	81
Abbildung 57 Original	81
Abbildung 58 Visualisierungen des geplanten Zustandes in Phase 1	84
Abbildung 59 UML Diagramme des Geometriemodells.....	87
Abbildung 60 UML Diagramm Appearance.....	89
Abbildung 61 Modelldarstellung in verschiedenen Jahreszeiten, Quelle: (Gröger et al. 2007)	89
Abbildung 62 UML-Diagramm des Thematischen Modells	90
Abbildung 63 UML-Diagramm der Gebäude	92
Abbildung 64 UML-Diagramm für Gruppierungen	92
Abbildung 65 Rathausmodell als SketchUp-Auftrag.....	94
Abbildung 66 prismatisches Modell	103
Abbildung 67 parametrisches Modell	103
Abbildung 68 polyedrisches Modell	103
Abbildung 69 Ablaufschema der Gebäuderekonstruktion Quelle: (Brenner & Haala 2007)	104
Abbildung 70 Gebäuderekonstruktion Quelle: virtualcitysystems	105
Abbildung 71 rekonstruiertes Modell Quelle: (virtualcitysystems).....	105
Abbildung 72 Visualisierung in Phase 2 mit LandXplorer Studio	107
Abbildung 73 importiertes Modell aus Phase 1	107
Abbildung 74 Systemarchitektur Ist-Zustand Quelle: (nach ESRI-Infomaterial)	108
Abbildung 75 Systemarchitektur entsprechend Phase 1	109
Abbildung 76 optimale Systemarchitektur in Phase 2 Systeme	109

[1] <http://cours.funoc.be/essentiel/article/img151/magritte.jpg> (30.8.2007)

[2] <http://www.stadtmodell-koeln.de> (30.8.2007)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beispiel einer Externen Zuordnungstabelle, Quelle: (Gröger et al. 2007).....	26
Tabelle 2 Mitglieder der SIG 3D	28
Tabelle 3 Softwareanbieter mit Bezug zu CityGML (Auswahl)	28
Tabelle 4 Vergleich von IFC und CityGML	34
Tabelle 5 Übersicht der eingesetzten Werkzeuge	48
Tabelle 6 Ausgangsdaten Teil 1	52
Tabelle 7 Ausgangsdaten Teil 2	52
Tabelle 8 externe Zuordnungstabelle "Gebäudefunktion"	96
Tabelle 9 externe Zuordnungstabelle "Dachtypen"	97
Tabelle 10 Attribute im LandXplorer	100
Tabelle 11 manuell editiertes, vereinfachtes Modell des Rathauskomplexes.....	100

Abkürzungsverzeichnis

3D	Dreidimensional
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem
API	Application Programming Interface
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
B-Rep	Boundary Representation
CAD	Computer Aided Design
CityGML	City Geography Markup Language
DXF	Drawing Interchange Format
FZK	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH in der Helmholtzgesellschaft
GCS	Grid Coverage Service
GIS	Geographisches Informationssystem
GML3	Geography Markup Language 3
DIN	Deutsches Institut für Normung
DGM	Digitales Geländemodell
DHM	Digitales Höhenmodell
DOM	Digitales Oberflächenmodell
DXF	Drawing Interchange Format
OASIS	Organization for the Advancement of Structured Information Standards
PDA	Personal Digital Assistant
PM	Projektmanagement
PPP	Public Privat Partnership
PGDB	Personal GeoDatabase
OGC	Open Geospatial Consortium
SIG 3D	Special Interest Group 3D
TIC	Terrain Intersection Curve
URI	Uniform Resource Identifier
VSM	Virtuelles Stadtmodell
W3C	World Wide Web Consortium
WCS	Web Coverage Service
WFS	Web Feature Service
WMS	Web Map Service

1 Einführung

1.1 Motivation

Die menschliche Wahrnehmung des Raumes basiert auf fünf Sinnen. Dabei kommt dem Sehen bei Positionierung, Orientierung und Bewegen eine primäre Funktion zu. Der gesunde Sehsinn ermöglicht eine dreidimensionale Erfassung der räumlichen Situation und wird im täglichen Leben zur völligen Normalität. Diese Tatsache ist ebenso banal wie wichtig, denn sie ermöglicht die schnelle Reaktionsfähigkeit, wie sie zum Beispiel beim Führen eines Fahrzeugs von enormer Wichtigkeit ist. So unspektakulär die Wahrnehmung der dritten Dimension in der Realität ist, umso verblüffender ist ihr Erkennen beim Betrachten ihrer Abstraktionen. Betrachtet man ein Photo oder einer Landkarte erwartet man ein zweidimensionales Bild. Gelingt es beispielsweise durch raffinierte Druckverfahren oder technische Hilfsmittel beim Betrachter einen „Stereoeindruck“ zu erzeugen, ist zumindest beim ersten Mal eine faszinierende Wirkung die Folge. (Man erinnere sich an die erste Betrachtung eines „Stereo-Guck-Kastens“ in der Kindheit oder an die in den 1990er Jahren damals sehr in Mode gekommenen „3D-Wunderwelten“.)

Diese faszinierende Wirkung der dreidimensionalen Visualisierung als Abstraktion der realen Welt hält gegenwärtig Einzug in die Welt der geographischen Informationssysteme (GIS). 3D-Stadtmodelle sind Repräsentanten dieser Entwicklung und nehmen im Bereich GIS eine gewisse Sonderstellung ein, da echte 3D-GIS gegenwärtig noch die Ausnahme bilden. Eine wichtige Rolle in der künftigen Entwicklung wird die Interoperabilität dreidimensionaler Daten spielen. Ein Meilenstein auf diesem Weg ist CityGML, das mehr als ein Austauschformat für eben diese Daten darstellt und gegenwärtig in einem OGC *Best Practice* (Gröger, Kolbe & Czerwinski 2007) existiert und zu einem OGC-Standard entwickelt wird (Nähere Erläuterungen zu den Aktivitäten des *Open Geospatial Consortium* (OGC) folgen in Kapitel 2.5).

Geographische Informationssysteme haben sich in vielen Bereichen unseres Lebens etabliert. Der hohe Prozentsatz von Informationen mit Raumbezug verlangt nach effizientem Datenmanagement und hat GIS als Werkzeug in vielen Bereichen zum Standard werden lassen. Am Beginn dieser Entwicklung standen zunächst Abbildungen

der Realität in Datenform und Methoden ihrer Verwaltung. Sehr bald entstand allerdings der Wunsch nach geeigneten Präsentationsmöglichkeiten. Die Gisfunktionalitäten EVAP - Eingabe, Verwaltung, Analyse, Ausgabe (engl.: *i.m.a.p.* – *input, management, analyze, presentation*) sind von Anfang an Bestandteil der Definitionen von GIS. Eng verbunden mit der Entwicklung der Rechentechnik waren Datenverwaltung und Präsentationsmöglichkeiten allerdings lange Zeit limitiert, je nach Stand der Technik wurde nach geeigneten Möglichkeiten der Datenausgabe gesucht. Die Ableitung von SYMAP- Karten sei hier beispielgebend erwähnt. Mit der immer rasanteren Entwicklung der Hardware wurde diese Limitierung weitgehend aufgehoben. Die Visualisierung raumbezogener Daten ist heute mittels brillanter Monitore und Farblaserdruckern jeweils in höchster Qualität möglich. Umso verwunderlicher erscheint, dass die standardisierte Darstellung räumlicher Phänomene im professionellen Bereich nach wie vor eine zweidimensionale Karte oder ein Plan ist, die zwar farblich keine Wünsche offen lassen, die dritte Dimension jedoch nur symbolisch darzustellen vermögen. Kann die Zweidimensionalität bei Druckausgabe noch mit dem zweidimensionalen Medium Papier erklärt werden, bleibt die Frage, warum die Bearbeitung und Visualisierung räumlicher Daten am Bildschirm ebenfalls meist auf zwei Dimensionen beschränkt bleibt. Vor diesem Hintergrund ist Ernst Buschmanns Betrachtung zur Definitionsentwicklung der Geodäsie interessant, in der er feststellt, dass sich VIDUEV bereits 1977 „von der Helmertschen Einengung auf die Erdoberfläche als Objekt der Geodäsie löst“ indem er definiert: „Geodäsie ist die Wissenschaft von den Methoden zur Bestimmung der gegenseitigen Lage von Objekten, die sich auf, unter oder über der Erdoberfläche befinden.“ (Buschmann 1992)

Betrachtet man die Entwicklungen auf benachbarten Gebieten, stellt man einen starken Trend in Richtung 3D-Visualisierung fest. In Systeme zur Fahrzeugnavigation können Karten wahlweise dreidimensional dargestellt werden, einzelne Objekte, so genannte Landmarks, erscheinen photorealistisch, Betriebssysteme und Software von Computern, PDAs und Mobiltelefonen erhalten 3D-Oberflächen, Graphikkarten sind mit 3D-Chips ausgestattet um Spiele realistisch ablaufen zu lassen und im Internet bieten so genannte *Global Viewer* die Möglichkeit, immer mehr 3D-Objekte darstellen zu können, wie zum Beispiel seit Neuestem Berlin als 3D-Stadtmodell in Google Earth.

In der Verwaltung der kreisfreien Stadt Plauen wird seit Ende der 1990er Jahre Konsequenz auf den Einsatz von GIS zur Unterstützung der Fachabteilungen, in denen

raumbezogene Daten benötigt werden, gesetzt. Mit dem Ziel einer effizienten Verschlinkung der Stadtverwaltung wurde in einer Strukturreform das Amt für Geoinformation etabliert. Hervorgegangen aus dem Stadtvermessungsamt wird bereits im Namen der Organisation die Neuorientierung in Richtung einer breiteren Nutzung raumbezogener Daten und der daraus ableitbaren fundamentalen Informationen deutlich. Im „Stadtkonzept Plauen 2011“ http://www.plauen.de/pitcms/.plauen/hauptordner1/e1_o1/e2_o8/e3_o4/hauptordner1/hauptordner1/hr_oberdorfer1.pdf (30.8.2007) wird folgende Zielstellung definiert: „Aufbau effektiver Verwaltungsstrukturen mit dem Ziel der Optimierung und Reduzierung von Behördengängen für den Bürger sowie Einsparungen von Verwaltungskosten“. Innerhalb dieses Rahmenkonzepts wurde im Jahr 2001 das „GIS-Projekt Plauen“ gestartet. Die inhaltlichen Schwerpunkte bilden die Herstellung der Digitalen Stadtgrundkarte und die Einführung eines GIS für die Gesamtverwaltung. Letzteres konnte bereits im Januar 2005 festgestellt werden, der Erfüllungsstand der Digitalen Stadtgrundkarte zum damaligen Zeitpunkt lag bereits bei ca. 75%, ist zwischenzeitlich vollständig erfasst und wurde in die Phase der aktuellen Laufendhaltung überführt. In den Fachabteilungen Stadtplanung, Wirtschaftsförderung, Geoinformation, Umwelt, Bauordnung, Straßenverwaltung und Straßenverkehrswesen, Tiefbau, Grundstücksverwaltung, Wahlen und Statistik wurden GIS- Vollarbeitsplätze eingerichtet, in denen Geodaten der Aufgabenschwerpunkte Bauleitplanung, Gewerbegebietskataster, Digitale Stadtgrundkarte, Biotopkartierung, Überschwemmungsgebiete, Baulastenverzeichnis, Hausnummernkataster, Verkehrszeichenkataster, Straßenzustandsverzeichnis, stadteigene Grundstücke und die Wahlkreiskarte verwaltet werden. Es wurde eine zentrale Geodatenbank und ein auf Internettechnologie basierender GIS- Kartendienst installiert. In einer 2004 durchgeführten Telefonumfrage gaben von 137 Mitarbeitern der Stadtverwaltung 52 an, GIS für die tägliche Vorgangsbearbeitung zu nutzen, 67 mehrmals wöchentlich und 18 im Bedarfsfall. Die hauptsächlichen Vorteile des GIS wurden von den Nutzern in Zeitersparnis bei Auskünften, Wegfall von Behördengängen, Rechtsicherheit, effizientem Datenaustausch und einem erhöhtem Vertrauen der Bürger auf Grund der gesteigerten Aussagefähigkeit der Mitarbeiter. Durch den GIS- Einsatz ergeben sich innerhalb der Stadtverwaltung deutliche Rationalisierungseffekte, von denen an dieser Stelle Zeitersparnis bei der Informationsgewinnung, weniger Dienstgänge und Vororttermine sowie effizientere Recherchetätigkeit genannt sein sollen.

Mit diesem GIS- Projekt nahm Plauen im sächsischen Städtevergleich des Jahres 2004 eine Vorreiterrolle ein. Dresden und Leipzig orientierten die Planungen ihrer jeweiligen GIS- Konzepte auf der Basis der gleichen GIS- Philosophie und des gleichen GIS- Systems wie die Stadt Plauen.

Gegenwärtig existiert in Plauen noch kein digitales 3D- Stadtmodell. Diese Tatsache erklärt sich primär aus der Haushaltssituation in Verbindung mit der Tatsache, dass 3D- Stadtmodelle als aufwändig und teuer gelten. Mit dem Anglizismus „*Nice to have - who pays*“^{cc*} lässt sich die Positionierung zu diesem Thema kurz und knapp zusammenfassen.

Entwicklungen in einer Kommunalverwaltung müssen von verschiedenen Standpunkten betrachtet werden. Ausgehend von der Sicherstellung eines weitgehend reibungslosen Ablaufs des Zusammenlebens der Bürger sind zunächst kommunale Pflichtaufgaben zu erfüllen. Dazu gehören beispielsweise Sicherheit und Katastrophenschutz, Einwohnermeldeamt und Statistik, Planung in verschiedenen räumlichen Strukturen.

Daseinsfürsorge, die stets mit Kosten verbunden ist und die Verpflichtung zu ökonomischem Handeln sind weitere Eckpunkte, die ein wirtschaftliches Spannungsfeld erzeugen.

Beeinflusst werden diese Aufgaben von weiteren wesentlichen Faktoren. Zunächst ist hier das Feld der Politik zu nennen. Dieser Faktor darf bei Entwicklungen nicht unterschätzt werden. Politische Verhältnisse entsprechen dem Idealbild eines demokratisch gewählten und handelnden Rates der Ältesten, der sich am Allgemeinwohl orientiert und dabei verantwortlich und sinnvoll Haushaltsmittel einsetzt, in unterschiedlichem Maße. Weiterhin müssen die Verhältnisse der kommunalen Politik in Relation zur territorialen und globalen Situation betrachtet werden. Trotz des Subsidiaritätsprinzips, nachdem die gewählten Gremien ihre Angelegenheiten selbst bestimmen, unterliegen diese Organe übergeordneten Bedingungen, die auf kommunale Entscheidungen zurückwirken.

Ein zweiter Eckpunkt ist die Haushaltssituation einer Kommune. Unstreitig ist der einfachere Weg der Entscheidungsfindung bei besserer Ausstattung mit Haushaltsmitteln. Kann über den Sinn von Fußgängerüberwegen aus verschiedenen Marmorarten gestritten werden, sie existieren und resultieren aus gut gefüllten Haushaltskassen. Dies ist allerdings nicht der Regel- sondern der Ausnahmefall.

* Nett zu haben – wer bezahlt?

Dennoch darf auch das immer geltende Sparsamkeitsprinzip nicht zum Stillstand führen. Ausgeglichene Haushalte enthalten eine Investitionsquote, deren Mittel für Entwicklungen möglichst sinnvoll eingesetzt werden müssen.

Fachliche Interessen befinden sich als dritter fundamentaler Punkt in diesem Konstrukt. Sie existieren nicht losgelöst und sind gegenseitig abhängig. So entstehen beispielsweise zwischen Verkehrsplanern und Umweltfachleuten zwangsläufig Konfliktsituationen, die Konsensfähigkeit bei den Beteiligten erfordern.

Im „Stadtkonzept Plauen 2011“ wird die Orientierung für die künftige Entwicklung der Stadt definiert. Folgenden Zitate aus den Leitlinien betonen die Bedeutung der Weiterentwicklung und der Modernität:

Oberzentrum:

„Alle Aktivitäten der Stadt und ihrer Bürger müssen daraufhin ausgerichtet sein, das Oberzentrum Plauen zu stärken und weiterzuentwickeln sowie die Kreisfreiheit weiterhin zu garantieren.“

Wirtschaft und Arbeit:

„Wirtschaftsfördernde Maßnahmen werden zur absoluten Priorität erklärt.“

Städtebau und Wohnen:

„Die Problematik des Stadtumbaus, als eine der wichtigsten Aufgaben der nächsten Jahre, wird in Plauen offensiv angegangen.“

Verwaltung:

„Plauen entwickelt sich zu einem kundenfreundlichen Dienstleistungs- und Behördenzentrum für die Region.“

Umwelt und Landschaft:

„Die Entwicklungspolitik der nächsten Jahre wird durch das Prinzip der Nachhaltigkeit geprägt sein.“

Tourismus:

„Aktivierung aller regionalen und lokalen Potenziale zur Förderung des Tourismus.“

Image und Öffentlichkeit:

„Zur Imageverbesserung präsentiert sich die Stadt weltoffen und modern, ohne dabei die historischen Wurzeln preiszugeben.“

Innenstadt und Handel:

„Gemeinschaftliches Handeln zur Ausnutzung aller räumlichen und funktionalen Potenziale für die Attraktivitätssteigerung der Innenstadt.“

1.2 Aufgabenstellung

Ein virtuelles Stadtmodell ist für alle oben genannten Bereiche und darüber hinaus ein wesentliches und nutzbringendes Werkzeug zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen. Dabei muss von der Vorstellung eines finanziell unüberschaubaren Großprojektes abgewichen werden.

Die gegenwärtige Entwicklung zeigt einen deutlichen Trend in Richtung dreidimensionaler Visualisierung von Geodaten. Virtuelle Stadtmodelle werden künftig zum Standard einer modernen Verwaltung gehören und die Entstehung eines 3D-Geodatenmarktes ist voraussagbar. Grundvoraussetzung für die Etablierung marktfähiger 3D-Produkte ist die Interoperabilität der Systeme. Weiterhin verlangt ein solcher Markt eine Mindestanzahl von Anbietern derartiger Produkte. Wie die GIS-Entwicklung gezeigt hat, spielen Behörden diesbezüglich eine gewisse Vorreiterrolle. Mit der vorhandenen GIS- Infrastruktur verfügt die Plauener Stadtverwaltung über hervorragende Bedingungen zur sukzessiven Etablierung eines virtuellen Stadtmodells.

Mit dieser Master Thesis soll gezeigt werden, dass die Realisierung eines interoperablen virtuellen Stadtmodells mit vertretbarem Aufwand möglich ist. Wie und mit welchen Mitteln solch ein System aufgebaut werden kann, ist Thema der vorliegenden Arbeit.

1.3 Struktur der Arbeit

Ausgehend von einigen theoretischen Betrachtungen werden aktuelle und künftige Standards betrachtet, die für die Themen Virtuelle Stadtmodelle und Interoperabilität relevant sind.

In weiteren Teilen wird das Konzept eines fiktiven Projektes erarbeitet, dass in zwei Phasen gegliedert ist. Phase 1 beschreibt die Arbeitsschritte, mit denen unmittelbar begonnen werden kann und versteht sich demnach als Ad-hoc-Phase. Phase 2 des Projektkonzepts beschreibt die Realisierung eines interoperablen virtuellen Stadtmodells.

Mit diesem Lösungsansatz wird die Beantwortung folgender Fragen verfolgt:

- Welche Schritte sind zur Etablierung eines virtuellen Stadtmodells notwendig?
- Wie kann die Interoperabilität eines Stadtmodells gesichert werden?
- Wie hoch ist der Aufwand für die Realisierung des beschriebenen Projektes?

Der Konzeption folgen die Zusammenstellung der Ergebnisse und deren kritische Interpretation.

Zusammenfassend schließen ein Rückblick auf die Master Thesis und der Ausblick auf künftig mögliche Schritte die Arbeit ab.

Diese Master Thesis versteht sich als Projektkonzeption im Sinne einer Projektanleitung. Ziel der Arbeit ist nicht die konkrete Etablierung eines interoperablen Stadtmodells.

Die Arbeit richtet sich nicht ausschließlich an Fachpublikum, sondern soll Entscheidungsträgern einer Stadtverwaltung eine Hilfe bei der Positionierung zu den Themen virtuelles Stadtmodell und Interoperabilität sein. Aus diesem Grunde wurde versucht, eine Diktion zu finden, die auch Lesern ohne direkten Bezug zu räumlichen Daten diese Thematik anschaulich erschließt. Wo möglich wurden englische Begriffe weitgehend ins deutsche übertragen, ansonsten *kursiv* dargestellt.

2 Begriffe und theoretische Betrachtungen

2.1 Der Modellbegriff



Das ist keine Pfeife*. So lässt sich die Bildunterschrift übersetzen, die René Magritte unter sein berühmtes surrealistisches Bild gesetzt hat und damit den Betrachter derart verwirrt, dass dieser zunächst protestierend rückfragen könnte, was es denn dann sei. Das es sich nur um das Bild einer Pfeife handelt, erscheint schließlich simpel, zeigt aber, wie leicht unser Abstraktionsvermögen durch visuelle Reize, virtuelle Eindrücke in reale Zusammenhänge zu bringen vermag.

Der Begriff Modell hat im heutigen Sprachgebrauch mehrere Bedeutungen. Im architektonischen Modellbau werden verkleinerte Modelle geplanter Bauwerke erstellt, die bildende Kunst kennt das Aktmodell, Väter bauen Modelleisenbahnen für ihre Söhne, Datenbankadministratoren benötigen Datenmodelle und im Automobilbau werden nicht funktionsfähige Kunststoffmodelle zur Formfindung von Karosserien im Maßstab 1:1 hergestellt. All diesen Modellen (mit Ausnahme des Aktmodells) ist eines gemeinsam: Die Modelle sehen „echt“ aus. Das heißt, sie ermöglichen dem Betrachter eine quasi reale Vorstellung des meist noch nicht existierenden Originals. Das Abstraktionsvermögen ist im Falle der Modellbetrachtung umso weniger gefordert, je „echter“ das Modell gestaltet ist. Der Betrachter erkennt direkt Zusammenhänge und

* Abbildung: René Magritte: Der Verrat der Bilder, 1928/29, Quelle: [1], 1928/29, (aus Rücksicht auf das Druckbild wurde die Beschriftung ausnahmsweise als Fußnote übernommen.)

Wechselwirkungen mit der Umgebung. So geben Designstudien perfekt modellierter Fahrzeuge aus Holz und Gips Aufschlüsse über Form, Größe und Luftwiderstandsbeiwert, lassen aber nur bedingt Aussagen zum Wendekreis oder zum Kurvenverhalten zu. Speziell räumliche Modelle widerspiegeln demzufolge nur Teilbereiche der Realität. Im Gegensatz zu Bildern oder Plänen ist jedoch der Abstraktionsgrad wesentlich geringer. Betrifft das zu erzeugende Modell größere räumliche Bereiche, wie die Modellierung ganzer Städte, liegt die Miniaturisierung als denkbarer Modellierungsansatz auf der Hand. So ist die Erstellung eines 3D-Stadtmodells aus maßstäblich verkleinerten Baustoffen denkbar. Es entstünde jedoch ebenfalls kein „reales“ Modell. Granitstrukturen lassen sich nicht verkleinern, Belastungseffekte von Straßenbelägen durch intensiven Straßenverkehr können nicht maßstäblich verkleinert werden.

Des Weiteren sind Analysen an derartigen Miniaturmodellen nicht realistisch. Für die Untersuchung diverser Immissionen wie Feinstaub oder Lärm führt die reine Miniaturisierung nicht zum Ziel. Davon abgesehen, dass für Immissionssimulationen Quellen und Senken miniaturisiert werden müssten, wären beispielsweise Wechselwirkungen im Mikroklima, Niederschlagsverteilungen etc. nur unzureichend erfassbar. Ein einfaches Beispiel für die Unzulänglichkeit derartiger Verkleinerungen kennen Modelleisenbahner, die außerordentlich viel Wert auf den realistischen Eindruck legen. Der Modellbahnhandel bietet heute zwar rauchende Dampflokomotiven an, deren Rauchfahne erinnert jedoch eher an weihnachtliche Räucherkerzen, als an die kraftvollen Dampfwolken einer bergauf fahrenden echten Lokomotive in den Schweizer Bergen.

Im technischen Modellbau werden häufig Materialien eingesetzt, die von dem des zu entwerfenden Produktes völlig abweichen. Beispielsweise ist bei der Entwicklung einer neuen Fahrzeuglenkung für Untersuchungen zur Geometrie ein filigranes Kunststoffmodell denkbar. Ist die Entscheidung zur Geometrie gefallen, kann die Materialfrage untersucht werden.

Modelle müssen weder in Größe noch in Material dem Original entsprechen. Sie dienen einem oder mehreren konkreten Zwecken, woran sich ihre Gestalt orientiert.

2.2 Dreidimensionale Stadtmodelle

Dreidimensionale Stadtmodelle sind keine Erfindung des Computerzeitalters. In vielen Kommunen existieren Holzmodelle in Maßstäben von 1:500, 1:1000 und kleiner. Häufig sind sie im öffentlichen Bereich von Rathäusern für den Betrachter zugänglich aufgestellt. Das historische Stadtmodell Plauens aus den 20er Jahren des vorigen Jahrhunderts steht heute im Städtischen Museum. Es zeigt nahezu das gesamte Stadtgebiet, ist mehrere Quadratmeter groß und zeugt von hoher handwerklicher Kunst der damaligen Modellbauer. Der einst repräsentative Charakter des Modells ist offensichtlich. Im Rathaus existiert ein aktuelles wesentlich kleineres Holzmodell, das auf den innerstädtischen Bereich beschränkt bleibt. Die Kosten für ein derartiges plastisches Modell sind beachtlich. Die Stadt Köln erstellt gegenwärtig ein Holzmodell im Maßstab 1:500 auf 144 je einen Quadratmeter großen Platten im Rahmen einer *Public Privat Partnership* (PPP). Die Kosten pro Platte werden auf den Internetseiten <http://www.stadtmodell-koeln.de> (28.8.2007) mit 25.000 DM angegeben und sollen in Form von Spenden eingesammelt werden.

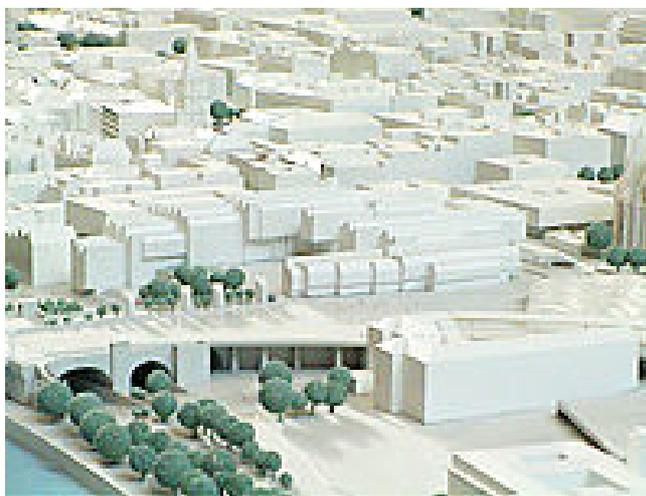


Abbildung 1 Stadtmodell Köln, Quelle [2]

Welchem Zweck dienen diese Stadtmodelle?

Ein wichtiger Aspekt ist der visuelle Eindruck größerer räumlicher Bereiche der städtischen Situation. Durch Austausch einzelner Bereiche können geplante Strukturen in die vorhandene modellierte Bebauung implementiert werden und

Entscheidungsgremien (z.B. Stadtrat) veranschaulicht werden. Kleinräumige Darstellungen sind bei diesem Verfahren nur eingeschränkt möglich. So lässt sich die Perspektive eines Betrachters, der sich innerhalb der Situation befindet nur recht aufwändig mit speziellen teuren Minikameras erzeugen, wie sie im medizinischen Bereich (Endoskopie) Anwendung finden. Ein realistischer Eindruck kann dennoch nicht entstehen, weil in diesen Modellen selten Texturen existieren. Der Betrachter des Kamerabildes befindet sich in meist im Umfeld einfarbiger Quader. Lichtverhältnisse, Jahreszeiten und Sonnenstand können nicht realistisch abgebildet werden.

2.3 Virtuelle Stadtmodelle

Neben den beschriebenen realen, quasi „anfassbaren“ Stadtmodellen existieren inzwischen deren Pendanten in datenbasierten Informationssystemen. In der Fachliteratur werden sie unterschiedlich bezeichnet. Digitales Stadtmodell, Dreidimensionales Stadtmodell, 3D-Stadtmodell oder Citymodel sind häufig verwendete Bezeichnungen.

Räumliche Systeme wie GIS verwalten grundsätzlich die drei geometrische Elementarobjekte Punkt, Linie und Fläche. Im dreidimensionalen System kommt der aus Flächen gebildete Körper hinzu, der als Solid bezeichnet wird. Diese als Feature besitzen per Definition eigene Dimensionen. Der Punkt, dessen Lage zwar mit 3 Koordinaten im Raum eindeutig beschrieben werden kann, ist dimensionslos, besitzt also die Dimension 0. Punkte haben keine Ausdehnung (dann wären sie Flächen), sie existieren in der realen Welt nicht. Punkte können nicht mit einer Einheit multipliziert werden. Linien sind folglich eindimensionale Objekte und können durch Längeneinheiten beschrieben werden, Flächen sind zweidimensional, ihre Flächeneinheit ergibt sich aus der Multiplikation ihrer Längeneinheiten und ist somit quadratisch. Körpern sind dreidimensional. Durch die Multiplikation der Grundfläche mit ihrer Normalen erhält man kubische Einheiten.

Bezieht man die Zeit als vierte Dimension in die Betrachtung ein, ist ein System denkbar, dass jeden Punkt mit einer variablen Zeitinformation verknüpft. Wird dieser Punkt durch seine dreidimensionalen Koordinaten nicht mehr eindeutig beschrieben, vielmehr müsste der Begriff Zustand verwendet werden, der dann die Lage des Punktes im definierten Koordinatenraum zum Zeitpunkt t_i eindeutig beschreibt. Darstellungen zu

einem dieser Zeitpunkte werden als Zeithorizonte bezeichnet. Bei einem solchen System müsste folglich der Begriff 4D-Stadtmodell eingeführt werden. Im Übrigen ist dies eine Entwicklungsrichtung in der Städteplanung ist, wie das Projekt Mais:4D, eine Forschungskoooperation der Stadt Wien und der TU Wien, anschaulich zeigt <http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/erdbergermais/mais4d.htm> (29.8.2007).

Obwohl der Begriff *virtuell* im allgemeinen Sprachgebrauch für *scheinbar* benutzt wird, ist die primäre Bedeutung für Virtualität im Duden stärker ausgedrückt. Demnach bedeutet virtuell „der Kraft od. Möglichkeit nach vorhanden, scheinbar“ (DUDEN 1996). Deshalb soll in dieser Arbeit der Begriff Virtuelle Stadtmodelle (VSM) für computergestützte dreidimensionale Stadtmodelle benutzt werden.

Virtuelle Stadtmodelle lassen sich mittlerweile materialisieren. So genannte 3D-Printer ermöglichen die Herstellung realer dreidimensionaler Körper zu inzwischen akzeptablen Produktionskosten von 0,10 € bis 0,20 € pro Kubikzentimeter. Die Fortführung klassischer dreidimensionaler Stadtmodelle kann durch den Einsatz dieser Technik sichergestellt werden. Bei entsprechender variabler Konstruktion eines vorhandenen Holzmodells sind auf diesem Wege auch Darstellungen von Entwurfsplanungen möglich.

Die Möglichkeiten eines virtuellen Stadtmodells gehen aber weit über die der klassischen Modelle hinaus. Im virtuellen Stadtmodell sind Simulationen von großräumigen Phänomenen wie Lärmausbreitung, Hochwasser oder Abschattungen von Funkwellen realisierbar, andererseits können kleinräumige Objektbegehungen im Videoformat, Sichtbarkeitsanalysen oder virtuelle Museumsbesuche erzeugt werden.

Auf einen bemerkenswerten Aspekt sei an dieser Stelle hingewiesen. Computeranimierte Visualisierungen die mit „3D“ bezeichnet werden, werden auf zweidimensionalen Monitoren erzeugt. Was der Betrachter als dreidimensional empfindet, ist nur die Illusion dreidimensionaler Bilder. Unter Ausnutzung perspektivischer Darstellungen und raffinierter Licht- und Schatteneffekte berechnen leistungsfähige Prozessoren in Echtzeit real erscheinende Bilder. „Echtes 3D“ müsste künstliche räumliche Körper visualisieren. Mittels zusätzlicher Hilfsmittel wie beispielsweise Rot-Grün-Brillen und so genannter Anaglyphendarstellung können diese Illusionen noch intensiver erlebt werden.

Die Datenerfassungsmethoden für Virtuelle Stadtmodelle unterscheiden sich. Für großräumige VSM werden mittels Fernerkundung, flugzeuggetragen Laserscanner

(*Airborne Laser Scanning*) oder Aerophotogrammetrie eingesetzt. Mit spezieller Software kommen (teil-) automatisierte Verfahren zur Objektgenerierung zum Einsatz. Korrektiv und ergänzend müssen die Ergebnisse manuell verbessert werden. Der Anteil dieser Arbeitsschritte variiert nach Größe und gewünschtem Detaillierungsgrad des zu erfassenden Gebietes, sowie nach Alter, Komplexität und Diversität der Objekte. Diese Aufnahmeverfahren werden auch nach dem Prinzip „von oben“ benannt.

Für kleinräumige Projekte sind derartige Verfahren häufig unökonomisch. Für die Datenerfassung von Stadtteilen, Straßenzügen und ähnlichen Projekten kommen terrestrische Verfahren der Vermessung, Photogrammetrie oder terrestrisches *Laserscanning* zum Einsatz. Die Erfassung von Dachformen stellt hierbei ein Problem dar. Die terrestrischen Verfahren entsprechen dem Prinzip „von unten“.

Eine weitere Methode ist zur Gewinnung dreidimensionaler Daten ist die manuelle Konstruktion von 3D-Modellen mit Hilfe von -Werkzeugen. Dabei können zum Beispiel für nicht mehr existierende Gebäude archivierte Bauakten herangezogen werden. ebenso ist die Erzeugung geplanter Objekte auf diesem Wege möglich.

Der Bereich städtischer Planung ist eines der wichtigsten Anwendungsgebiete virtueller Stadtmodelle. Betrachtet man die heutige Planungspraxis, erkennt man vier Hilfswerkzeuge, die das Fehlen eines VSM nur mäßig kompensieren können:

- Photomontagen mit geplotteten CAD-Modellen, Nachteil: festgelegte Ansicht, statische Perspektive
- 3D-CAD-Modelle, Nachteil: aufwändige Erzeugung, meist erst in Objektplanungsphase verfügbar, Einsatz im Nahbereich, häufig ohne Bezug zum Gelände bzw. Umgebungsbebauung
- Animation über festgelegte Videosequenzen, Nachteil unflexibel, häufig festgelegte Geschwindigkeit
- individuelle künstlerische Gestaltung, die vom jeweiligen Architekten geprägt ist

Ein weiterer Pluspunkt beim Einsatz virtueller Stadtmodelle im Vergleich zum zweidimensionalen Plan ist die einheitliche Diskussionsgrundlage für alle Beteiligten. Bei der Betrachtung eines Plans „übersetzt“ der Leser das Bild individuell in seiner Vorstellung, was zu Missverständnissen führen kann.

Einsatzmöglichkeiten für virtuelle Stadtmodelle:

- alle Planungen, bei denen mehrere Planungsvorschläge bzw. Lösungen existieren,
- Stadtteilkonzepte
- Straßengestaltung
- Plätze
- Lückenschließungen
- Architekturwettbewerbe
- Ergänzung und ggf. Ersatz der klassischen Holzmodelle (siehe Kapitel "Holzmodelle")
- Stadtmarketing
- Wirtschaftsförderung (Beispiel: Darstellung des Ist-Zustandes eines Gewerbegebietes für Investoren)
- Liegenschaftsverwaltung, *Facility Management*
- Modellierung von Emissionen (Lärm, Feinstaub, Mikroklima) bei denen die kanalisierende Wirkung urbaner Strukturen relevant ist

In virtuellen Stadtmodellen unterscheidet man fünf unterschiedliche Detaillierungsgrade, so genannte Level of Detail (LOD)

Diese unterschiedlichen LOD sind aus zwei Gründen notwendig. Einerseits sind sie das Ergebnis unterschiedlicher Datenerfassungsmethoden, andererseits resultieren sie aus Anforderungen verschiedener Anwendungen.

LOD0 beinhaltet das DGM und kann optional mit Orthophotos aber auch topographischen oder thematischen Karten texturiert werden.

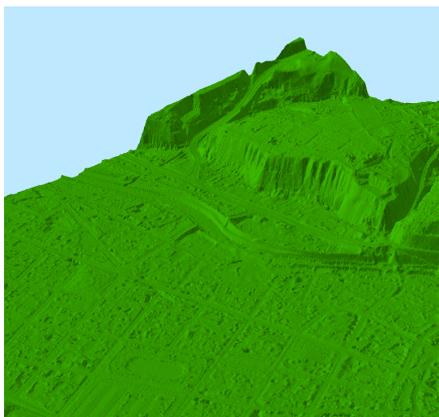


Abbildung 2 Digitales Geländemodell

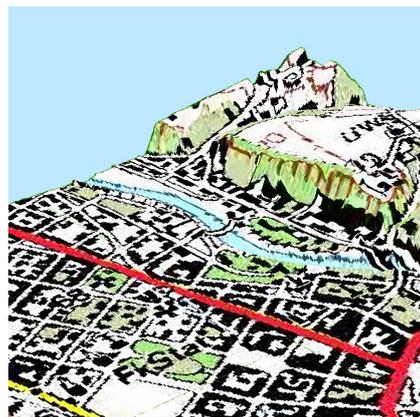


Abbildung 3 DGM mit Textur

LOD1 zeigt die Darstellung von DGM und stark vereinfachten Gebäuden in Form von Quadern oder prismatischen Körpern, die die Gebäudehöhe repräsentieren. LOD1 wird häufig als „Klötzchenmodell“ bezeichnet.

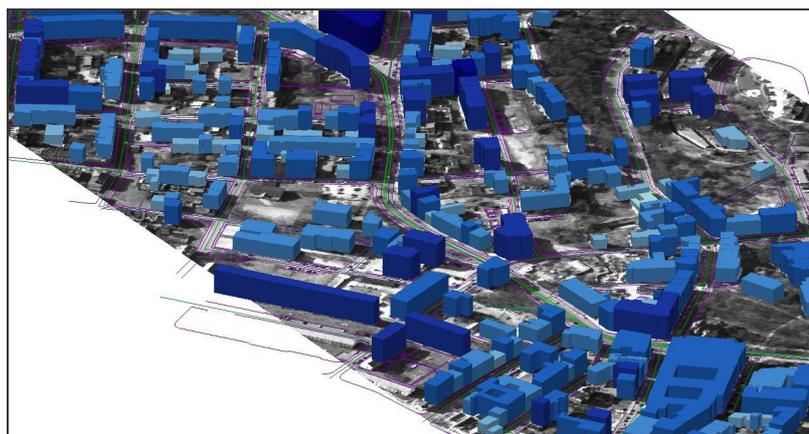


Abbildung 4 Klötzchenmodell, Beispiel Planungsgebiet

LOD2 repräsentiert DGM, Gebäude und vereinfachte Dachformen, definierte Standarddachformen, die Gebäude können thematisch koloriert oder texturiert sein.

LOD3 steht für LOD2 mit realen Dachformen, Fenster- und Türöffnungen und hochauflösenden Texturen.

LOD4 beinhaltet schließlich ausmodellierete Innenräume, die virtuell begehbar sind.



Abbildung 5 LOD3: Gebäude vor dem Fenster, LOD4: innerhalb

Neben den Gebäuden können alle darstellbaren Objekte aus den Bereichen Vegetation, Verkehr und Stadtmöblierung in verschiedenen LOD dargestellt werden.

2.4 Digitale Geländemodelle

Höheninformationen über das Gelände haben eine lange Tradition und hohe Bedeutung auf verschiedenen Gebieten. Historisch betrachtet dürften ihre Anfänge im Wasserbau zu finden sein, aber auch für militärische Zwecke oder auf dem Gebiet des Verkehrswegebbaus sind sie essenziell. Sichtbar gemacht werden sie in Form des Reliefs, das mittels eingezeichneter Linien gleicher Höhen erzeugt wird. Diese Höhenlinien, auch als Isohypsen oder vereinfacht Isolinien genannten Linien werden kartographisch auf verschiedene Weisen erzeugt.

Die klassische Konstruktion von Isohypsen in der Kartographie erfolgt aus so genannten Gerippelinien. Dieses Gerippe entsteht aus topographischen Messungen im Gelände und repräsentiert exponierte Punkte (Gipfel), Rücken, Senken, Sättel, etc. In der Natur existieren allerdings mehr Bruchkanten, als beim Erfassen von Gerippelinien berücksichtigt werden können. Auf den Gerippelinien interpoliert der Kartograph die gewünschten runden Höhenwerte für die anschließende Konstruktion verschiedener Höhenlinien (Haupthöhenlinien, Zähllinien, Hilfshöhenlinien, etc.) Bei der Konstruktion der Höhenlinien zwischen den interpolierten Höhen zeichnet ein geübter Kartograph anschließend die Höhenlinien frei Hand. Dabei fließen auch ästhetische Aspekte der Ausrundung in die letztendliche Gestalt der Höhenlinie ein. Aus diesen

Gerippelinien Punkte für Höhenlinien interpoliert werden. Es entstehen Linien gleicher Höhe. Der horizontal unterschiedliche Abstand der Höhenlinien repräsentiert dabei einen konstanten vertikalen Abstand, die so genannte Äquidistanz.

Eine zweite Möglichkeit der Erzeugung von Isohypsen ist die Nutzung der analytischen Stereophotogrammetrie, bei der ein Operateur die virtuelle Messmarke auf eine fixe Höhe einstellt und anschließend das Gelände damit „abfährt“. Dieses Verfahren verlangt sehr viel Erfahrung und Können. Das Endergebnis wird in jedem Fall kartographisch bearbeitet.

Beide Verfahren dürften im kartographischen Alltag inzwischen der Vergangenheit angehören, dennoch existieren derart konstruierte Reliefs in großer Zahl auch in modernen Kartenwerken (in Form digitalisierter Druckvorlagen). Derartige Höhenlinien vermitteln dem Kartenbetrachter einen Eindruck vom Relief, sie stellen kein exakt mathematisch-geometrisches Abbild des Geländes dar.

Der Vollständigkeit halber seien moderne (halb-)automatische Verfahren zur Erzeugung von Isohypsen in der Photogrammetrie erwähnt. Bei diesen Verfahren wird allerdings zunächst ein Digitales Geländemodell als Produkt der Stereoauswertung erzeugt. Aus diesem DGM werden dann Höhenlinien abgeleitet.

Digitale Geländemodelle (DGM) liefern Höheninformationen unter Ausnutzung computergestützter Verfahren im Raster- oder Vektorformat. Raster-DGM liefern die Höheninformationen über die Grauwerte der zugrunde liegenden Pixel, Vektor-DGM sind in den meisten Fällen mittels Triangulation oder Dreiecksvermaschung genannten Verfahren verbundene Punkte, deren X-, Y-, und Z-Koordinate in einem räumlichen kartesischen Koordinatensystem bekannt sind. Die Genauigkeit der DGM ist in erster Linie von der Genauigkeit der zugrunde liegenden Punkte und von deren Verteilung im Gelände abhängig.

Da eine flächendeckende Bestimmung von Höhenpunkten in ausreichender Qualität meist nicht vorliegt, werden häufig digitalisierte Höhenlinien in Topographischen Karten als Grundlage für die Berechnung des DGM herangezogen. Die Erzeugung eines DGM in Form eines Triangulated Irregular Network (TIN) aus Höhenlinien stellt grundsätzlich eine unbefriedigende Lösung dar.

Bei Kenntnis der Höhenlinienerzeugung wird deutlich, dass ein TIN, welches aus digitalisierten Isohypsen resultiert, in jedem Fall von dem Gelände abweicht, das es

repräsentieren soll, da Bruchkanten fehlen und Höhenlinien nicht lagerichtig sind. Es kommen jedoch weitere Probleme hinzu. Die Punktmenge aus der Digitalisierung überrepräsentiert die Höhenlinien, da nur dort Punkte erfasst werden können. Das Ergebnis sind lange paralaktische Dreiecke mit sehr kleiner Basis, die entweder bergauf, oder bergab zeigen.

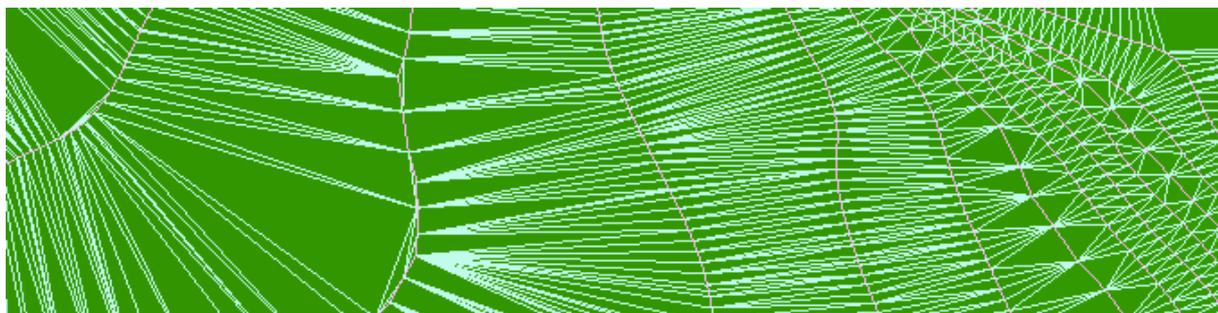


Abbildung 6 TIN aus Höhenlinien mit paralaktischen Dreiecken

Idealerweise soll ein TIN jedoch aus möglichst gleichseitigen Dreiecken bestehen. Ein weiteres Problem sind aus der Triangulation resultierende Dreiecke, bei denen alle Eckpunkte den gleichen Höhenwert besitzen. Der daraus entstehende „Terrasseneffekt“ verfälscht die Geländerepräsentation.

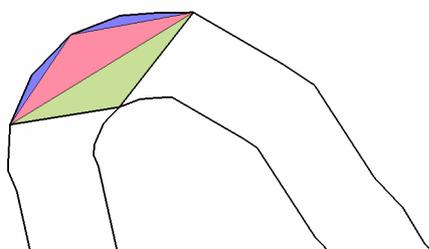


Abbildung 7 Terrasseneffekt, Draufsicht

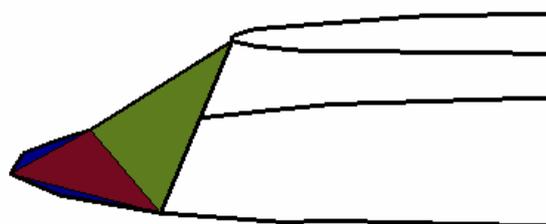


Abbildung 8 Terrasseneffekt

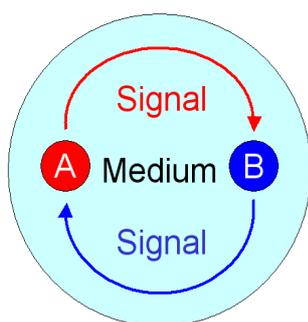
Digitale Geländemodelle können auch aus Luftbildern abgeleitet werden. Hierzu existieren verschiedene Verfahren, von manueller Erfassung der entsprechenden Höhenpunkte bis zu teilweise automatisierten Verfahren. Die Technologie ist allerdings aufwändig, da sie zunächst Stereoluftbilder entsprechender Qualität, spezielle Auswertegeräte und Software und erfahrenes Personal erfordern.

Die modernste Variante der DGM-Erzeugung ist deren Ableitung aus den Ergebnissen flugzeuggetragenen *Laserscans* (*Airborne Laser*). Da Laserbefliegungen seit kurzem durch die Landesvermessungsämter beauftragt werden, kann mit der Verfügbarkeit

hochgenauer DGM gerechnet werden. Die Rohdaten des Lasers liefern die Höheninformationen des Geländes allerdings nicht direkt, sondern sind Entfernungen des Lasers zum reflektierenden Objekt. Dieses Objekt kann die Geländeoberfläche sein, aber auch die Oberfläche eines Daches oder ein Blatt eines Baumes. Das Resultat eines derartigen *Laserscans* ist ein so genanntes Digitales Oberflächenmodell (DOM). Mit verschiedenen Auswerteverfahren wird das DGM aus dem DOM berechnet. Weiterführende Informationen finden sich in (Kraus 2004). Für die Erstellung eines virtuellen Stadtmodells sind die Ergebnisse dieser Berechnung besonders interessant, denn in der Differenzmenge aus DOM und DGM sind verschiedene Daten enthalten, die zur Ermittlung von Informationen über die aufgewachsene Vegetation, Gebäudebestand und weiterer Objekte im Aufnahmegebiet herangezogen werden können (siehe Kapitel 4.7)

2.5 Interoperabilität und Standardisierung

Das Problem eines möglichst reibungslosen Datentransfers stellt ein Urproblem in der Entwicklung der Datenverarbeitung dar, das sich letztlich auf das Problem des Kommunikationskreises reduzieren lässt. Ziel der Kommunikation ist die Verständigung. Diese kommt nur zustande, wenn alle folgenden Bedingungen eintreten:



1. A sendet verständliches Signal aus.
2. Signal wird über Medium übertragen.
3. B empfängt Signal.
4. A und B tauschen ihre Rollen.
5. A und B können Signale verarbeiten.

Das Fehlen bereits einer Bedingung verhindert Kommunikation. Ein simples Gespräch zwischen zwei Personen ist im Vakuum nicht möglich. Von der fehlenden Sauerstoffversorgung abgesehen, fehlt das Medium Luft als Träger der Schallwellen. Im Falle des Eintretens suboptimaler Bedingungen wird die Kommunikation behindert oder verzögert. Ein Gespräch in unterschiedlichen Sprachen benötigt einen Dolmetscher und bremst die Kommunikationsgeschwindigkeit. Zudem ist durch die, zwar nicht

gewünschte aber unvermeidliche subjektive semantische Interpretation des Übersetzers ein gewisser Informationsverlust zu erwarten.

Überträgt man den Kommunikationskreis auf GI-Systeme, bezeichnet Interoperabilität eine funktionierende Kommunikation zwischen unterschiedlichen Systemen.

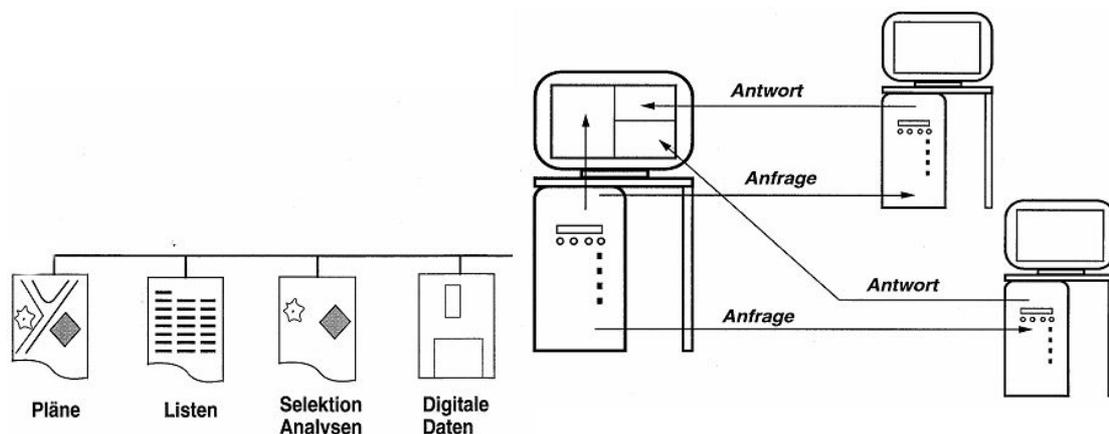


Abbildung 9 Interoperabilität von Systemen Quelle: (Carosio 2005)

Der eigentliche Datenaustausch kann nach verschiedenen Verfahren unterschieden werden (Die kursiven Begriffe werden im nächsten Absatz näher erläutert):

- Die Nutzung *proprietärer* Datenformate dient in effizienter Weise dem inneren Datenaustausch zum Beispiel bei der systeminternen Speicherung oder zwischen identischen Systemen.
- *Standard*datenformate können eine optimale Lösung zwischen Systemen sein, wenn entsprechende Schnittstellen vorhanden sind. Dabei ist zunächst unerheblich ob es sich um echte oder de facto Standards handelt.
- Bei modellbasierten Transferverfahren werden mittels einer standardisierten Datenstrukturbeschreibung und *genormter* Verfahren vollautomatisch Austauschformate aus der Datenstruktur des Systems A hergeleitet und in die Struktur des Systems B überführt.
- Mittels *Interoperabilität* ist Kommunikation ohne den Austausch der eigentlichen Geodaten denkbar. Es werden genormte Anfragen und Antworten übermittelt. (Carosio 2005)

Der Begriff proprietär ist mehrdeutig. Im hier verwendeten Sinne soll darunter ein systemeigenes internes Format verstanden werden. In anderen Zusammenhängen grenzt der Begriff beispielsweise proprietäre Software von freier Software ab, wobei die Offenlegung und freie Verfügbarkeit des Quellcodes gemeint ist. Dabei bedeutet „frei“

nicht zwingend kostenfrei. In anderer Bedeutung grenzt „proprietär“ Formate von Standardformaten ab. In einer weiteren Bedeutung bezeichnet „proprietär“ urheberrechtlich geschützte Objekte.

Die Begriffe Standard und Norm werden auf den Internetseiten des „Deutschen Institutes für Normung DIN wie folgt unterschieden: „In Ergänzung zur konsensbasierten Normung wird der Erarbeitungsprozess von Spezifikationen im Deutschen als Standardisierung bezeichnet.“ <http://www.din.de/cmd?level=tpl-bereich&menuid=47420&cmsareaid=47420&languageid=de> (28.8.2007). In Anlehnung an den englischen Sprachgebrauch soll hier Standard für „echte“ Standards und Normen Verwendung finden. Unter „echten“ Standards werden diejenigen verstanden, die als solcher von einem anerkannten Gremium verabschiedet wurden. Unter „Quasistandards“ werden Formate oder Regeln verstanden, die entweder Entwicklungsstufen zu „echten“ Standards sind oder im Sinne „echter“ Standards allgemein anerkannt sind. Beispiele:

- „Echter“ Standard: ISO 216 entspricht DIN 476 „Papierformate“
- „Quasistandard“: Shapefile, einst proprietäres Format für Geodaten, durch ESRI offen gelegt, weite Verbreitung in verschiedenen GIS

Die Verwendung von Standardformaten wird häufig als vermeintlich gute und saubere Lösung zum Datenaustausch betrachtet. Wird ein reibungsloser Übergang von Daten erreicht, gilt das Problem als gelöst. Professionelle „Datendrehscheiben“ wie FME oder CITRA kommen zum Einsatz, in die Standardformate eingelesen werden können und je nach Lizenzmodell in nahezu beliebige Formate umgewandelt werden können. Der Nutzen dieser Programme soll hier nicht in Abrede gestellt werden, zumal diese Softwarewerkzeuge weitere interessante Tools bilden. Dennoch überbrücken sie lediglich den Zeitraum bis zur Realisierung echter Interoperabilität, die ohne Konvertierung auskommen wird.

Standards sind keine Gesetze, allerdings kann ihre Anwendung durch Gesetze oder nachgeordnete Verordnungen gesetzlich vorgeschrieben werden. Standards werden von Standardisierungsgremien verabschiedet. Das „Deutsche Institut für Normung (DIN) e.V.“ ist ein solches nationales Gremium. Rechtlich ein eingetragener Verein handelt es gemeinnützig und ist aufgrund eines Vertrages mit der Bundesrepublik Deutschland in internationalen Normierungsgremien anerkannt (DIN-Seiten). Anderen Gremien fehlt hingegen die zwischenstaatliche Anerkennung, was jedoch an der Bedeutung ihrer

Standardisierungsbemühungen wenig ändert. Bereits in der Anfangsphase des *World Wide Web* gründete Tim Berners-Lee, der als sein Erfinder des WWW gilt, das „*World Wide Web Consortium (W3C)*“, das grundlegende Quasistandards (W3C-Empfehlungen) etablierte, ohne die heute selbstverständliche Kommunikation via Internet nicht möglich wäre. Beispiele hierfür sind HTML oder SVG. Für den Bereich Geodaten und Interoperabilität ist das „*Open Geospatial Consortium*“ zu nennen. In diesem 1994 gegründeten internationalen Konsortium sind gegenwärtig 352 Firmen, Behörden und Universitäten vereint. Mit dem Ziel der vollen gesellschaftlichen GIS-Integration und GIS-Interoperabilität werden drei Programme parallel verfolgt:

1. Interoperabilitätsprogramm
2. Spezifikationsentwicklungsprogramm
3. Verbreitungs- und Einführungsprogramm

An diese Stelle sei eine Definition für Interoperabilität angegeben:

„Interoperabilität ist die Fähigkeit möglichst vieler Systeme oder Komponenten, Daten elektronisch auszutauschen und sie mit möglichst wenig Aufwand, insbesondere ohne manuelle Bearbeitung, weiter zu verwenden.“(Willy Müller 2005)

Die Standards werden bei OGC Spezifikationen genannt. Folgende Beispiele sind *OGC-Spezifikationen*, also OGC-Standards:

- *Geography Markup Language 3 (GML3)*
- *Grid Coverage Service (GCS)*
- *Web Coverage Service (WCS)*
- *Web Feature Service (WFS)*
- *Web Map Service (WMS)*

Weitere Veröffentlichungen sind abstrakte Spezifikationen (*Abstract Specifications*), in denen konzeptionelle Modelle dokumentiert werden:

- *Spatial Referencing by Coordinates*
- *Features*
- *Feature Collection*
- *Metadata*
- *Catalog Service*

Best Practices sind keine OGC-Standards, repräsentieren aber den offiziellen Standpunkt zum Thema des jeweiligen Dokuments:

- *KML 2.1 Reference – An OGC Best Practice*
- *City Geography Markup Language (CityGML)*

2.5.1 CityGML

In der Einleitung der *Candidate OpenGIS® CityGML Implementation Spezifikation (City Geography Markup Language)* findet man folgende Motivation zu CityGML ((Gröger et al. 2007), nächste drei Absätze übersetzt):

CityGML ist ein geometrisch-semantisches Informationsmodell für 3D-Stadtmodelle. CityGML ermöglicht die 3D-Datennutzung für verschiedene Anwendungsgebiete und hat das Potential eines breiten Anwenderkreises. Vor dem Hintergrund kostenintensiver Datenerfassung und Fortführung von 3D-Stadtmodellen eröffnet dieser Aspekt nicht zuletzt verbesserte Vermarktungsmöglichkeiten derartiger dreidimensionalen Daten. Potentielle Interessenten sind auf den Gebieten Stadtplanung, Architektur, Tourismus, Umwelt, Telekommunikation, Katastrophenmanagement, Immobilienwirtschaft, Navigation und 3D-Simulation zu finden.

CityGML ist ein offenes, XML basiertes Datenmodell für die Speicherung und den Austausch Virtueller 3D-Stadtmodell. Das Anwendungsschema ist als GML3-Schema implementiert, und entspricht damit dem erweiterbarem internationalen OGC-Standard für den Austausch und die Verschlüsselung räumlicher Daten. Weiterhin basiert CityGML auf einer Reihe weiterer Standards der ISO 191xx-Familie, der OGC, W3C, OASIS.

CityGML definiert die Klassen und Beziehungen für die meisten topographisch relevanten Objekte in Städten und regionalen Modellen unter Beachtung der Eigenschaften von Geometrie, Topologie, Semantik und Aussehen. Dabei wird der Begriff „City“ weit gefasst und bezieht sich nicht nur auf Bauwerke sondern ebenso auf die Höhe, Vegetation, Gewässer, Stadtmöblierung und mehr. CityGML beinhaltet verschiedenen Generalisierungshierarchien zwischen thematischen Klassen, Aggregationen, Beziehungen zwischen Objekten und räumliche Eigenschaften. CityGML ist für große wie kleine Flächen geeignet und kann Gelände und 3D-Objekte in unterschiedlichen Detailstufen sog. „Level of Details“ gleichzeitig repräsentieren und kann damit von einfachen Modellen ohne Topologie und wenig Semantik bis zu

hochkomplexen Modellen mit voller Topologie und fein strukturierter Semantik darstellen. CityGML erlaubt den verlustfreien Datenaustausch zwischen verschiedenen GI-Systemen und Nutzern.

CityGML ermöglicht eine allgemeingültige Abbildung der Basiselemente, ihrer Attribute und ihrer Beziehungen eines virtuellen Stadtmodells. Neben dem geometrischen Modell existiert ein thematisches Modell zur Repräsentation semantischer und thematischer Eigenschaften, Taxonomien und Aggregationen.

CityGML ist zunächst eine XML-Sprache, geht aber über die reine Definition einer Auszeichnungssprache (*Markup Language*) weit hinaus. Das XML-Schema, das im Prinzip die Grammatik einer XML-Sprache festlegt, beinhaltet ein vollständiges Datenmodell. Bei der Realisierung eines VSM kann (und sollte) unmittelbar auf dieses Datenmodell zurückgegriffen werden. Neben dem rationellen Effekt, der aus der Vermeidung eigener Datenmodellierung resultiert, ist die konsequente Nutzung des CityGML-Modells eine Grundvoraussetzung für den Grad der Interoperabilität des zukünftigen Stadtmodells. Nahezu alle denkbaren Konstrukte aus Geo-Objekten in einer Stadt lassen sich in CityGML abbilden. Bisher nicht realisierte Modellierungen, wie Brücken und Tunnel können dennoch mit den zur Verfügung stehenden Möglichkeiten (mittels so genannter generischer Objekte) abgebildet werden. Im Übrigen werden diese fehlenden Entitäten in der CityGML-Beschreibung genannt und gleichzeitig wird auf die künftige Weiterentwicklung von CityGML verwiesen. Damit kann der Anwender selbst entscheiden, ob er derartige Objekte in einem späteren Evolutionsschritt seines Stadtmodells integriert werden, oder eine kompatible Modellierung sofort realisiert wird.

Räumliche Eigenschaften werden in CityGML durch eine Teilmenge des GML3-Geometriemodells dargestellt, und folgen dabei dem Prinzip der *Boundary Representation* (B-Rep), bei dem Körper nur durch Punkt, Linien und Flächen definiert werden. Der Körper wird durch die Grenze zwischen Körper und Nicht-Körper beschrieben, eben die Begrenzung (*Boundary*). Gekrümmte Flächen werden mittels ebener Teilflächen angenähert.

Im Folgenden wird die generelle Charakteristik von CityGML in verkürzter Form dargestellt. Die Ausführliche Beschreibung findet sich in (Gröger et al. 2007).

Detailierungsgrade (LOD)

Die in Kapitel 2.3 beschriebenen LOD werden von CityGML unterstützt, mit der Besonderheit, dass die verschiedenen LOD-Informationen bei ein und demselben Objekt gespeichert werden können. Damit ist die Darstellung der Objekte in verschiedenen LOD möglich.

Kohärentes semantisch-geometrisches Datenmodell

Die Besonderheit und damit eines der wichtigsten Designziele von CityGML ist die kohärente Modellierung von semantischen und geometrisch-topologischen Eigenschaften. Die Entitäten im Sinne von Geo-Objekten sind sowohl geometrisch modelliert, als auch thematisch. Das bedeutet, dass der Zusammenhang geometrischer Objekte gleichzeitig auf thematischer Ebene existiert. Ist beispielsweise die Geometrie einer Fensterkonstruktion mit der Geometrie der Wand, in der sich das Fenster befindet, verbunden, so ist dieser Zusammenhang auch über die thematische Verknüpfung „Wand beinhaltet Fenster“ sichergestellt. Damit existieren im Datenmodell zwei Hierarchien, in der sowohl geometrische Beziehungen, als auch semantische Beziehungen parallel existieren.

Abschlussflächen (*Closure surfaces*)

Für nicht geschlossene Objekte, wie beispielsweise Eingänge zu Fußgängerunterführungen können. Die Verwendung derartiger Flächen ermöglichen die Berechnung von Volumina und verhindern Lücken im Geländemodell. In Visualisierungsapplikationen werden sie nicht oder volltransparent dargestellt.

Geländeschnittlinie (*Terrain Intersection Curve*)

Das Problem einsinkender oder schwebender Objekte, wie es häufig in virtuellen Stadtmodellen zu finden ist, kann mit der exakten Geländeschnittlinie, die Bestandteil von Gebäudeobjekten, Stadtmöbeln oder generischen Objekten sein kann, verhindert werden. Das DGM kann an diese Linie angepasst werden. Objekte können in je LOD verschiedene TIC besitzen.

Externe Zuordnungstabellen (*Dictionaries and code Lists for enumerative attribute*)

Objektattribute existieren häufig in Verbindung mit Schlüsselnummern in Katalogen oder in Tabellenform. Ein Beispiel sind Dachformen im ALKIS-Objektartenkatalog. Die Mitführung derartiger Attribute in verbaler Form ist fehleranfällig und im

Allgemeinen auf eine Sprache beschränkt. In diesem Falle bietet CityGML die Möglichkeit externe Zuordnungstabellen zu nutzen, auf die im Datenmodell mittels Schlüssel zugegriffen werden kann. Damit können Attributen flexibel Werte zugewiesen werden.

Externe Referenzen (*External References*)

CityObjects haben häufig Verbindungen zu anderen Systemen oder Datenbanken. So kann beispielsweise ein Gebäude auf ALK-Grundriss basieren. Die Mitführung originärer Daten führt zu unerwünschten Redundanzen und damit zu inkonsistenten Datenbeständen. Zur Vermeidung dieses Effekts kann zu jedem *CityObject* ein Verweis auf den Originaldatensatz verwiesen werden. Zum Objekt wird ein so genannter *Uniform Resource Identifier (URI)* gespeichert, mit dem auf beliebige Quellen im Internet verwiesen werden kann. Objekte können mehrere URI besitzen.

Tabelle 1 Beispiel einer Externen Zuordnungstabelle, Quelle: (Gröger et al. 2007)

ExternalCodeList: NoiseCityFurnitureSegmentTypeType	
1	Wand
2	Wall
3	Wand/Wall
4	Gabione
5	Wall/Gabione
6	Sichtschutz
7	Wand gekröpft

Gruppierung (*City object groups*)

CityObjects können beliebig zu Gruppen zusammengefasst werden. Die Gruppierung kann ebenso rekursiv sein, das heißt, eine Gruppe aus *CityObjects* kann selbst ein *CityObject* sein. Die Gruppierung kann in beliebiger Tiefe definiert werden und kann eingeschlossene Gruppierungen beinhalten.

Eigenschaften von Oberflächen (*Appearance*)

Oberflächen besitzen vielfältige Eigenschaften, die über ihr reines Aussehen hinausgehen. So ist beispielsweise Glas nicht nur durchsichtig, sondern hat auch bestimmte Reflexionseigenschaften, raue Oberflächen haben andere Schallabsorptionskoeffizienten als glatte, usw. Je nach gewünschter Auswertung können in CityGML beliebig viele dieser Eigenschaften integriert werden.

Prototypen und *Scene Graph* Konzept (*Prototypic objects / scene graph concepts*)

Sollen häufig vorkommende Objekte, wie beispielsweise Lichtmasten dargestellt werden kann mittels einmalig definierter Prototypen erfolgen. Dabei wird dieser Prototyp einmal in einem lokalen Koordinatensystem definiert. Das Cityobjekt verfügt über eine Referenz zum Prototyp, einen Basispunkt im übergeordneten Koordinatensystem Festlegungen zur Transformation des Prototypen in selbiges. Das Prinzip garantiert ein effizienteres Speichermanagement im Vergleich zur jeweils einzelnen Generierung der Objekte. Übernommen wurde das Prototypenkonzept vom *Scene graph* Prinzip, wie es bereits in VRML oder in dessen Nachfolger X3D angewendet wird. Die Aufnahme dieses Prinzips in CityGML ist der Tatsache geschuldet, dass es in GML3, auf der CityGML beruht, nicht integriert ist.

Generische Objekte und Attribute (*Generic city objects and attributes*)

Für den Fall, dass in CityGML thematische Klassen oder Attribute verwaltet werden sollen, die nicht zum definierten Umfang gehören, können so genannte generische Objekte oder Attribute zu deren Definition verwendet werden. Wie bereits erwähnt, werden Brücken und Tunnel erst in einer späteren Version von CityGML verfügbar sein. Die Verwendung von generischen Objekten hat den Vorteil, dass das CityGML-Schema nicht verändert werden muss, wovon aus Interoperabilitätsgründen an dieser Stelle generell abgeraten wird. Generische Objekte und Attribute können in beliebiger Anzahl definiert werden.

Erweiterung des Definitionsbereiches (*Application Domain Extension (ADE)*)

Für den Fall spezieller Anwendungen, in denen über CityGML hinausgehende Objekte und Attribute definiert werden sollen, besteht die Möglichkeit der externen Erweiterung. Im Unterschied zu generischen Objekten und Attributen muss hierbei der Sprachumfang in einem zusätzlichen XML-Schema mit eigenen Namensraum (xmlns="name space") abgelegt werden, wobei mehrere ADE verwendet werden können. Eine solche

ADE zur Lärmausbreitung wird mit der neuesten Version von CityGML geliefert (CityGML-NoiseADE-0-5-0.xsd).

Die Entwicklung von CityGML wurde durch die *Special Interest Group 3D* (SIG 3D) im Rahmen der Initiative Geodateninfrastruktur Nordrhein-Westfalen (GDI NRW) voran getrieben, die auch für die Entwicklung des *Web 3D Service (W3DS)* verantwortlich zeichnet. Ziel ist es, CityGML als offiziellen OGC-Standard zu etablieren. Inzwischen wurde CityGML in den Stand eines OGC *Best Practice* erhoben. Die starken Entwicklungsbestrebungen bei verschiedenen Softwareherstellern im Kontext von CityGML spiegeln die hohe Bedeutung und den offensichtlichen starken Bedarf nach Interoperabilität wider. In der *Special Interest Group* sind mehr als 70 deutsche und europäische Mitglieder vertreten, von denen in der folgenden Tabelle auszugsweise einige vorgestellt werden:

Tabelle 2 Mitglieder der SIG 3D

Kommunen	Institutionen	Firmen	Wissenschaft
Berlin Hamburg Cologne Düsseldorf Bremen Essen Leverkusen Wuppertal Bochum Stuttgart	Landes- vermessungsämter	T-Mobile Bayer Industry Services Rheinmetall Defence Electronic 3D Geo CPA Geoinformation Con Terra GIStec GTA Geoinformatik Inpho Citygrid(AT) CyberCity (CH) Snowflake (UK)	Uni Bonn Uni Hamburg Uni Potsdam Uni Hannover Uni Dortmund Uni Münster Uni & FH Stuttgart Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeit ung Darmstadt Forschungszentrum Karlsruhe

Tabelle 3 Softwareanbieter mit Bezug zu CityGML (Auswahl)

Anbieter, Homepage	Software
3d geo, www.3dgeo.de	LandXplorer 3D Geo Server, LandXplorer Studio, LandXplorer CityGML Viewer (kostenloser CityGML Viewer),

	3D Geo Creator für Google Earth, LandXplorer Geotainment, 3D Geo Software-Development-Produkte
CPA Geo-Information, www.supportgis.de	SupportGIS
Snowflake, www.snowflakesoftware.co.uk	GO-Publisher, GO_Loader
Con terra	FME CityGML writer, CityGML reader
Institut für Kartographie und Geoinformation, artokwww.ikg.uni-bonn.de	Aristoteles (kostenloser CityGML Viewer)

Wichtige Eigenschaften von CityGML im Überblick:

- Die Basisklasse ist *CityObject*. Alle Folgeobjekte erben die Eigenschaften dieser Klasse.
- Das geometrische Modell wird im thematischen Modell jeweils zur Festlegung der geometrischen Eigenschaften der Objekte verwendet.
- Für alle Objekte, die derzeit noch nicht explizit in CityGML beschrieben werden, können generische Objektklassen verwendet werden.
- Objekte, die mehrfach verwendet werden sollen, können als Prototypen definiert werden.
- Objekte können in Gruppen zusammengefasst werden.
- Offene Flächen wie Unterführungen, Tunnel oder Hangars können mit „unsichtbaren“ Flächen, so genannten *ClosureSurfaces* verschlossen werden.
- Mit der *TerrainIntersectionCurve (TIC)*, der Schnittlinie von Gebäude und DGM kann definiert werden, um das Schweben, bzw. Einsinken der Gebäude zu verhindern.

CityGML kann in Kürze als *Package* von den <http://www.citygml.org> (31.8.2007) herunter geladen werden Bis zur Veröffentlichung steht die Vorgängerversion zur Verfügung.). Der verwendete Satz wurde freundlicherweise von Prof. Th. Kolbe vorab zur Verfügung gestellt. Beinhaltet sind:

- Ein kompletter Satz der XML-Schemata für GML Version 3.1.1 (Format xsd)
- Das XML-Schema für CityGML Version 0.4.0 (Format xsd)

- Externe Codelisten (Format xml)
- Ein XMLSpy-Projekt für CityGML
- Ein Oxygen XML editor Projekt for CityGML
- Eine visualisierbare Beispieldatei für Gebäude und Gruppen (*SimpleBuildings*)
- Eine Beispieldatei zur Dokumentation von Gruppen (*Groups*)
- Eine Beispieldatei zur Dokumentation von generischen Objekten (*GenericObjects*)
- Eine Beispieldatei für neue Texturdarstellung (*Appearance*) (visualisierbar mit entsprechendem Viewer)
- Die *Application Domain NoiseADE*
- Eine Schemadatei für xAL (Adressenstandard des OASIS *Consortiums*)

2.5.2 BIM und IFC

Probleme beim Datenaustausch zwischen verschiedenen Systemen sind nicht allein auf den GIS-Bereich beschränkt. Auch im Bauwesen wird fehlende Interoperabilität bereits seit längerer Zeit als Hemmnis gesehen. Solange zeichnerische Entwürfe auf Papier und deren notwendiger Austausch zwischen den Beteiligten das übliche Verfahren im Planungsprozess von Bauwerken waren, konnte der Informationsfluss mit mehr oder weniger aufwändiger Reproduktionstechnik sichergestellt werden. Ohne detailliert auf die Unterschiede von CAD und GIS näher einzugehen, verdeutlicht ein Blick auf den Beginn eines idealisierten Prozesses in beiden Welten ein deutliches Unterscheidungsmerkmal. Nach Installation eines CAD-Systems, ist dieses sofort einsatzbereit. Am Beginn des kreativen Prozesses steht ein leeres Blatt Papier, respektive die leere Arbeitsfläche des Zeichenprogramms und eine Anzahl Zeichenutensilien bzw. digitale Werkzeuge (*tools*). Der Konstrukteur kann unmittelbar mit seiner Arbeit beginnen. Im Gegensatz zu diesem Szenario ist nach der Installation eines GIS dieses im ersten Arbeitsschritt mit Daten zu füllen. Die Assoziation von Daten als „Treibstoff“ für GIS illustriert dieses Szenario. Aufgrund der Heterogenität

von Daten unterschiedlicher Herkunft treten Probleme beim Zugriff auf Fremddaten bereits am Beginn des Prozesses auf.

Mit zunehmender Vernetzung innerhalb der CAD-Welt wurden einerseits Verluste beim Informationsfluss zunehmend als störend empfunden, andererseits wurde erkannt, dass Geometriedaten semantische Informationen innewohnen, deren Nutzung eine beachtliche Effizienzsteigerung erwarten ließ. Weiteres Rationalisierungspotential liegt in einem hohen Anteil redundanter Datenerfassung. So repräsentiert beispielsweise die Geometrie einer Konstruktion ein Bauteil, das sowohl bei dessen Herstellungsprozess konstruiert wird, als auch bei der Konstruktion eines Bauwerkes, in dem es verwendet werden soll.

Die Lösung dieser Probleme beginnt mit der Gründung der „*International Alliance for Interoperability (IAI)*“ im Jahre 1995 in den USA, in der Firmen, Softwarehersteller, und Forschungseinrichtung aus dem weiteren Umfeld des Bauwesens zusammenarbeiten. Die Organisation ist in nationale *Chapter* unterteilt und wird in Deutschland von der „Industrieallianz für Interoperabilität e.V.“ vertreten. „Ziel der IAI ist es, den modellbasierten Ansatz für die Optimierung der Planungs-, Ausführungs- und Bewirtschaftungsprozesse durch IT Lösungen im Bauwesen zu etablieren“ (Liebich et al. 2006) Dieser, als *Building Information Model* (BIM) bezeichnete Ansatz entwickelt Modelle, die die Geometrie und Grafik mit Raum- und Bauteilinformationen verknüpfen. Dabei wird mit der IAI-Initiative buildingSMART versucht, eine ganzheitliche Betrachtung von Bauwerksmodellen über deren gesamten Lebenszyklus zu erreichen.

„Genauso wie „Striche zeichnendes“ CAD die Vorstellung von BIM nicht mehr gewährleistet (da es keine Objekte und Bauwerksmodelle erzeugt), können CAD Zeichnungsaustauschformate, wie DXF, STEP-CDS, etc. keine Bauwerksmodelle übergeben oder bleiben wie DWG, DGN, in proprietären Grenzen. Alle diese Formate sind Geometrieformate, wogegen Bauwerksmodell sowohl die Form (Geometrie der Bauteile) als auch den Inhalt (Material, Mengen, Kosten, Termine, etc.) beschreibt.“ (Liebich et al. 2006)

Das von der IAI entwickelte herstellernerneutrale Datenmodell und Austauschformat *Industry Foundation Classes* (IFC) wurde mit dem Ziel entwickelt, die erwähnten Probleme zu überwinden und damit einen Interoperabilitätsstandard zu etablieren. Die IFC basieren auf Bauobjekten (Wände, Rohre, Ventile, Lasten, Massen, Kostenansätze,

etc.). Zu diesen Bauobjekten werden zugehörige Attribute geführt. Die Datenhaltung erfolgt konsistent in einer Gebäudedatenbank.

Im „Anwenderhandbuch Datenaustausch BIM/IFC“ (Liebich et al. 2006) wurde der Datenaustausch an einem Beispielprojekt zwischen verschiedenen Systemen getestet. Grundbedingung ist die Erstellung eines derartigen Projektes mit Hilfe eines bauteilorientierten CAD-Systems. Die Originaldaten des Beispielprojektes, sowie die Ergebnisse der beteiligten Systeme sind unter www.buildingsmart.de (25.8.2007) abrufbar. An der Erstellung des Beispielprojektes waren folgende Softwareprodukte beteiligt:

Architektur CAD

Autodesk - Architektural Desktop mit Inopso IFC Konverter

Autodesk - REVIT

Bentley - Architecture

Graphisoft - ARCHICAD

Nemetschek - ALLPLAN

Haustechnik CAD

DDS Haustechnik - SHKPartner und Elektropartner

Hannappel Software GmbH - elcoSystem

Mensch und Maschine Software AG - RoCAD

2.5.3 Vergleich von IFC und CityGML

Die Entwicklung objektorientierter Datenmodelle, die einen verlustfreien Datenaustausch gewährleisten, ist positiv zu bewerten, bietet sie doch eine Lösung eines grundsätzlichen Problem digitaler Datenverarbeitung. Auf den ersten Blick stellt sich die Frage, ob die Etablierung zweier Formate nicht wiederum einen Bruch darstellt und neue Probleme aufwirft. Warum nicht CityGML (oder IFC) verwenden bzw. einen gemeinsam Standard entwickeln? Theoretisch wäre eine universelle Lösung wohl

denkbar, ist aber nicht nötig und wenig sinnvoll. CAD und GIS fokussieren nach wie vor auf unterschiedliche Betrachtungsobjekte. Auf der einen Seite steht der gestalterische projektbezogene Aspekt im Vordergrund, auf der anderen Seite das Managen räumlicher Phänomene. Das Effizienzkriterium ist Interoperabilität. Damit stellt sich letztlich die Frage, ob beide Formate ineinander überführbar sind. Dieser Nachweis wurde durch das Forschungszentrum Karlsruhe GmbH in der Helmholtzgesellschaft (FZK) bereits erbracht. Das FZK ist als Mitglied der SIG 3D und IAI an beiden Standardentwicklungen beteiligt und hat im IFC-Umfeld bereits verschiedene Softwareprodukte entwickelt, die im Internet abrufbar sind. Mit den beiden per Link verbundenen Wissensplattformen www.citygmlwiki.org (30.8.2007) und www.ifcwiki.org (30.8.2007) stellt das FZK umfassende Informationen, Software und weiterführende Links zu IFC und CityGML zur Verfügung. Ein intern entwickelter IFC-CityGML-Konverter, künftig IFC Explorer genannt, ermöglicht die 1:1 Übertragung von IFC-Daten nach CityGML. Die Ausgangsdaten und Ergebnisse dieses Tests sind ebenfalls als download zur Verfügung. Die Abbildungen 10 und 11 zeigen das Beispiel FZK-Haus im IFC-Viewer und in LandXplorer Studio Professional jeweils mit derselben markierten Außenwand. Die umgekehrte Variante aus CityGML- Daten IFC-Daten zu erzeugen ist möglich, aber bedingt sinnvoll. Stadtmodellldaten eignen sich aufgrund der ihnen innewohnenden Genauigkeit kaum als Ausgangsdaten für CAD und die projektbezogene Planung weiterhin in CAD erstellt wird. Für die Erstellung von Vorentwürfen innerhalb einer vorhandenen Umgebungsbebauung könnte es sinnvoll sein, jedoch kann wird das Einfügen von IFC-Projekten in den Bestand des 3D-Stadtmodells der Normalfall sein.

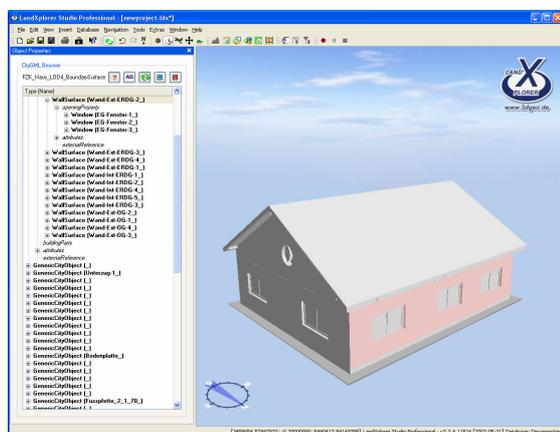


Abbildung 10 FZK-Haus in LandXplorer

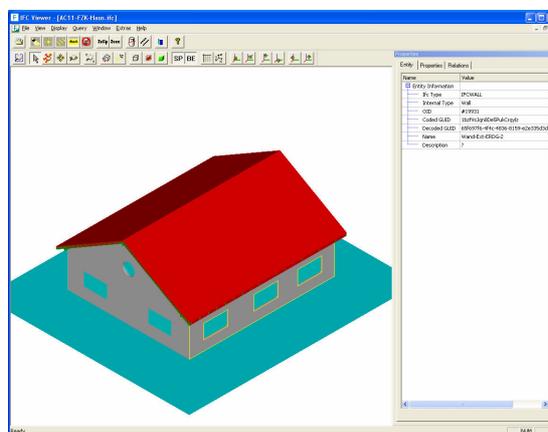


Abbildung 11 FZK-Haus in IFC Explorer

Im IFC-Viewer werden durch Selektion eines Bauteiles alle verbundenen Bauelemente detektiert. Im Beispiel ist die Wand „Wand-Ext-ERDG-2“ ausgewählt, angezeigt werden vier 4 Relationen, und die zugehörigen Zeilennummern in der IFC-Datei.

Entity Properties Relations		
Name	Value	Description
<input checked="" type="checkbox"/> Ifc Relations		
<input type="checkbox"/> IfcConnectsElements	Start #19931 <---> End #973	
<input type="checkbox"/> IfcConnectsElements	Start #19931 <---> End #19439	
<input type="checkbox"/> IfcConnectsElements	Start #20930 <---> End #19931	
<input type="checkbox"/> IfcConnectsElements	Start #21921 <---> End #19931	
<input type="checkbox"/> IfcSpaceBoundary	Start #223631 <---> End #19931	
<input type="checkbox"/> IfcSpaceBoundary	Start #223754 <---> End #19931	
<input type="checkbox"/> IfcSpaceBoundary	Start #223877 <---> End #19931	

Abbildung 12 Features im IFC Explorer

IFC- und CityGML-Dateien weisen im Übrigen beachtliche Größen auf. Die IFC-Beispieldatei beinhaltet 88222 Zeilen, das CityGML-Pendant 156.442 Zeilen. Ohne detailliert auf die Datenstruktur einzugehen, erkennt man jedoch leicht die Bauteile Wände und Öffnungen = Fenster, *Identifizier* und die Bezeichnungen. Alle Informationen lassen sich in der konvertierten CityGML-Datei wieder finden (siehe entsprechende Markierungen).

Tabelle 4 Vergleich von IFC und CityGML

IFC	<pre>#19931= IFCWALLSTANDARDCASE('1bzfVsJqn8De5PukCrqylz',#29,'Wand-Ext-ERDG-2',\$,\$,#19928,#20002,\$); #973= IFCWALLSTANDARDCASE('3rPX_Juz59peXXY6wDJI18',#29,'Wand-Ext-ERDG-1',\$,\$,#970,#1044,\$); #19439= IFCWALLSTANDARDCASE('25fsbPyk15VvuXI\$yNKenK',#29,'Wand-Ext-ERDG-3',\$,\$,#19435,#19509,\$); #20930= IFCWALLSTANDARDCASE('2ptk1k7qn8_Qk22vjh\$0DE',#29,'Wand-Int-</pre>
-----	---

	<pre> ERDG-1',,\$,#20927,#21001,\$); #21921= IFCWALLSTANDARDCASE(3Pfs_Y_DBAfq5naM6zD2Z',#29,'Wand- Int-ERDG-2',,\$,#21918,#21991,\$); #223631= IFCSPACE('347jFE2yX7IhCEIALmupEH',#29,'4',,\$,#223628,#223613,'S chlafzimmer',.ELEMENT.,.INTERNAL.,\$); #223754= IFCSPACE('0e_hbkIQ5DMQIJ\$2V3j_m',#29,'3',,\$,#223751,#223736,'Ba d',.ELEMENT.,.INTERNAL.,\$); #223877= IFCSPACE('2RSCzLOBz4FAK\$_wE8VckM',#29,'2',,\$,#223874,#223859 ,'Buero',.ELEMENT.,.INTERNAL.,\$); </pre>
CityGML	<pre> <boundedBy> <WallSurface gml:id="GEB_TH_Default_WAND_6"> <gml:description>?_</gml:description> <gml:name>Wand-Ext-ERDG-2_</gml:name> <stringAttribute name="IFC_TYPE_"> <value>IFCWALLSTANDARDCASE_</value> </stringAttribute> <stringAttribute name="IFC_GUID"> <value>1bzfVsJqn8De5PukCrqylz</value> </stringAttribute> : <boundedBy> <WallSurface gml:id="GEB_TH_Default_WAND_25"> <gml:description>?_</gml:description> <gml:name>Wand-Ext-ERDG-1_</gml:name> <stringAttribute name="IFC_TYPE_"> <value>IFCWALLSTANDARDCASE_</value> </stringAttribute> </pre>

	<pre> <stringAttribute name="IFC_GUID"> <value>3rPX_Juz59peXXY6wDJ18</value> </stringAttribute> : <boundedBy> <WallSurface gml:id="GEB_TH_Default_WAND_13"> <gml:description>?_</gml:description> <gml:name>Wand-Ext-ERDG-3_</gml:name> <stringAttribute name="IFC_TYPE_"> <value>IFCWALLSTANDARDCASE_</value> </stringAttribute> <stringAttribute name="IFC_GUID"> <value>25fsbPyk15VvuXI\$yNKenK</value> </stringAttribute> : <boundedBy> <WallSurface gml:id="GEB_TH_Default_WAND_32"> <gml:description>?_</gml:description> <gml:name>Wand-Int-ERDG-1_</gml:name> <stringAttribute name="IFC_TYPE_"> <value>IFCWALLSTANDARDCASE_</value> </stringAttribute> <stringAttribute name="IFC_GUID"> <value>2ptk1k7qn8_Qk22vjh\$0DE</value> </stringAttribute> : <boundedBy> <WallSurface gml:id="GEB_TH_Default_WAND_33"> <gml:description>?_</gml:description> <gml:name>Wand-Int-ERDG-2_</gml:name> <stringAttribute name="IFC_TYPE_"> <value>IFCWALLSTANDARDCASE_</value> </stringAttribute> </pre>
--	--

:	<pre><stringAttribute name="IFC_GUID"> <value>3Pfs_Y_DBAfq5naM6zD2Z</value> </stringAttribute></pre>
:	<pre><interiorRoom> <Room gml:id="GEB_TH_Default_RAUM_104"> <gml:description>?_</gml:description> <gml:name>4_</gml:name> <stringAttribute name="IFC_TYPE_"> <value>IFCSPACE_</value> </stringAttribute> <stringAttribute name="IFC_GUID"> <value>347jFE2yX7IhCEIALmupEH</value> </stringAttribute></pre>
:	<pre><interiorRoom> <Room gml:id="GEB_TH_Default_RAUM_104"> <gml:description>?_</gml:description> <gml:name>4_</gml:name> <stringAttribute name="IFC_TYPE_"> <value>IFCSPACE_</value> </stringAttribute> <stringAttribute name="IFC_GUID"> <value>347jFE2yX7IhCEIALmupEH</value> </stringAttribute></pre>
:	<pre><interiorRoom> <Room gml:id="GEB_TH_Default_RAUM_127"> <gml:description>?_</gml:description> <gml:name>2_</gml:name> <stringAttribute name="IFC_TYPE_"> <value>IFCSPACE_</value> </stringAttribute></pre>

	<pre><stringAttribute name="IFC_GUID"> <value>2RSCzLOBz4FAK\$ wE8VckM</value> </stringAttribute></pre>
--	--

2.5.4 Andere relevante Formate im 3D-Umfeld

KML

KML steht für *Keyhole Markup Language*, wobei *Keyhole* auf den Namen einer kalifornischen Firma zurückgeht, die sich der Vermarktung von Satellitenbildern verschrieben hatte und in diesem Zusammenhang den „*Keyhole Earth Viewer*“ produziert hat, mit dem es möglich war, die Satellitenbilder via Internet zu betrachten. Inzwischen ist die Firma von Google übernommen worden. Der weiter entwickelte Viewer ist weltweit bekannt unter dem Namen „Google Earth“ und hat einen regelrechten „Hype“ ausgelöst. Kaum eine Nachrichtensendung oder Dokumentation im Fernsehen kommt inzwischen ohne den globalen Zoom auf den Ort des Geschehens aus. Für die Entwicklung der Interoperabilität ist diese Omnipräsenz durchaus positiv zu betrachten, wecken die faszinierenden Bilder in „Google Earth“ letztlich ein breiteres Interesse an Geodaten, ohne diesen etwas sperrigen Begriff selbst zu benutzen. KML in der Version 2.1 ist inzwischen ein OGC *Best Practice*, was ein offizieller Standpunkt der OGC ist. Inwiefern KML als konkurrierendes Format zu CityGML verstanden werden könnte, soll an dieser Stelle nicht beurteilt werden, im Übrigen fehlen dem Format die semantischen Aspekte, wenn aber ein *Global Player* wie Google mit KML den Schritt in Richtung OGC geht, ist das ein sicherer Hinweis, welcher hohen Stellenwert Interoperabilität im Geodatenmarkt hat.

Im Zusammenhang dieser Master Thesis wird KML als Produkt gesehen, das aus dem Datenbestand eines virtuellen 3D-Stadtmodells erzeugbar sein sollte. Verschiedene Kommunen, zum Beispiel Berlin oder Dresden stellen ihre Stadtmodelle den Nutzern auch im KML-Format zur Verfügung. Softwareanbieter wie 3D Geo bieten entsprechende Programme an. Via Google Earth kann ein 3D-Stadtmodell weltweit visualisiert angeboten werden. Der werbliche Effekt ist mit Sicherheit beträchtlich.

Letztlich ist auf diesem Gebiet sogar ein kommunaler Wettbewerb erkennbar, der dem Geodatenmarkt deutliche Impulse verleihen kann.

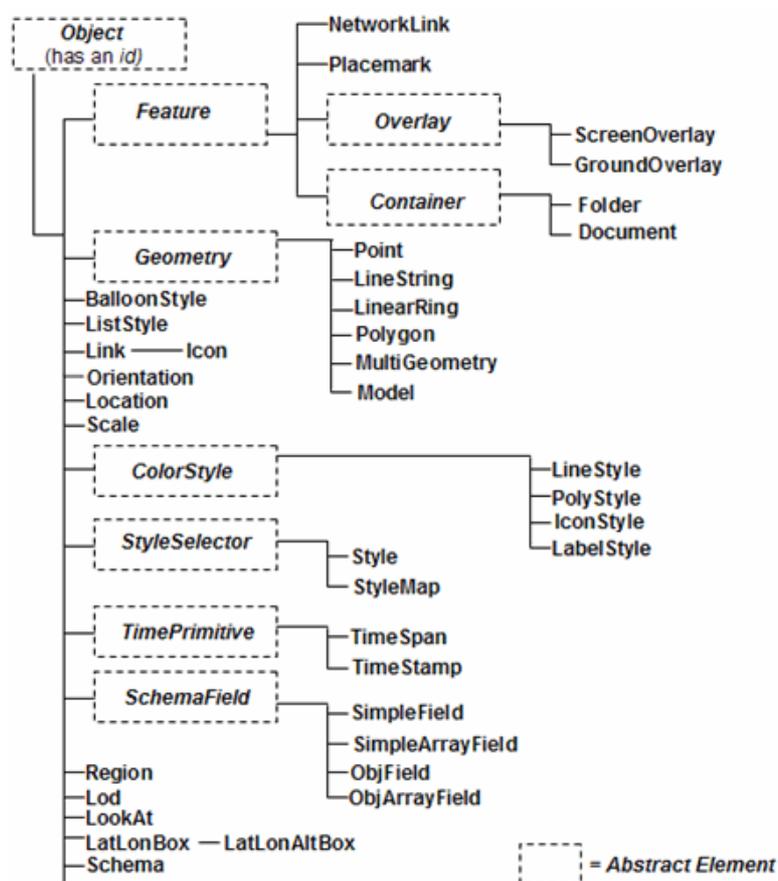


Abbildung 13 KML-Schema

KML ist eine auf XML basierende Auszeichnungssprache. Die (zip-) komprimierte Form heißt KMZ. In KML können Objekte beschrieben werden, mit denen es möglich ist, verschiedene Icons, Marker, Links, etc auf der Erdoberfläche im Earth Viewer darzustellen. Weiterhin werden in einer KML-Datei Informationen zu Blickwinkeln, virtuellen Kamerapositionen und Beschreibungen zu einer Position gespeichert. Die Informationen zum Raumbezug der Objekte werden in Form einer orientierten Bounding Box mittels geographischer Koordinaten abgelegt. Die Informationen für 3D-Objekte, in der Regel Gebäude oder andere Bauwerke, werden nicht direkt in der KML-Datei abgelegt. Im Element „Model“ verweist ein link auf eine externe COLLADA-Datei, deren Format kurz im nächsten Abschnitt beschrieben wird. Die COLLADA-Modellkoordinaten sind relative nicht georeferenzierte Koordinaten, die sich auf die vorher definierte Bounding Box beziehen. Nicht alle COLLADA-Möglichkeiten können

genutzt werden, so werden nur Dreieck- und Linienprimitive unterstützt, die maximale Anzahl der Dreiecke ist auf 21845 beschränkt, Animationen und *Skinning* (Texturieren von Skelettkonstrukten) werden nicht unterstützt.

COLLADA

COLLABorative Design Activity (COLLADA) wurde ursprünglich als offizielles Format für die Spielkonsole „Play Station 3“ von Sony Entertainment entwickelt. Inzwischen wurde COLLADA als offizielles Austauschformat für so genannte 3D *assets* etabliert. *Asset* meint in dieser Beziehung Binärformate mit immanentem Nutzungsrecht, die damit offen im rechtlichen Sinne sind. COLLADA wurde von Sony in das Industriekonsortium KHRONOS eingebracht, einer Vereinigung namhafter Hard- und Softwarehersteller, zu denen beispielsweise ATI, NVIDIA, SUN MICROSYSTEMS, SAMSUNG, NOKIA und viele andere mehr gehören. Das bekannteste Markenzeichen der KHRONOS Group dürfte OpenGL[®] sein, ein weit verbreitetes *Application Programming Interface* (API).

COLLADA ist ebenfalls XML basiert und beschreibt ausführlich Form, Aussehen und Verhalten dreidimensionaler Daten, jedoch ohne semantische Informationen. Ein in COLLADA beschriebener Würfel mit glatter, transparenter und reflektierender Oberfläche „weiß“ nicht, dass es beispielsweise einen Eiswürfel repräsentiert.

3DS

Das Format 3DS ist ein binäres 3D-Datenformat, dessen Spezifikation inzwischen ebenfalls veröffentlicht wurde. Es wurde für 3D Studio entwickelt, einer Software, die umfangreiche Möglichkeiten zur Generierung dreidimensionaler Bilder und Animationen bietet. Die gegenwärtige Entwicklungsstufe des Programms heißt 3ds Max, die von AUTODESK entwickelt und vertrieben wird. Das Format 3DS ist in vielen 3D-Software-Produkten implementiert. Im Zusammenhang dieser Master Thesis wird 3ds sowohl als mögliches Austauschformat in Phase 1 des Projektes *Plauen*³ als auch als Produkt in Phase 2 betrachtet.

VRML/X3D

VRML wurde als 3D-Format für das Internet konzipiert und ist inzwischen als ISO14772 Standard definiert. VRML ist im ASCII-Format geschrieben und kann von entsprechenden Playern wiedergegeben werden. Dabei entstehen die 3D-Szenen im Client des Betrachters, der über einen entsprechenden Player verfügen muss. Die Performanz ist vom verwendeten Prozessor und von der Grafikhardware abhängig. Als

Nachfolger von VRML gilt das XML-basierte X3D-Format, ebenfalls ein ISO-Standard (ISO19775). Im Projekt *Plauen*³ kann VRML bzw. X3D als Ausgabeformat eine Rolle spielen.

2.6 Weiterführende Konzepte

2.6.1 Smart Buildings

Die Modellierung von Gebäuden wird durch das Konzept *smart buildings* erweitert, dessen UML-Diagramm in Abbildung 14 dargestellt ist. Zunächst beschreibt ein *smart building* eine Entität eines *CityModels*. Im Unterschied zur CityGML-Klasse *building* ist es aber auf die etagenweise Betrachtung eines Gebäudes ausgerichtet. Dabei besitzt jede Etage einen eigenen Grundriss und kann darauf stehende Wände haben. Jede Etage verweist dabei auf einen *FloorPrototype*, der bei gleichen Etagen mehrfach verwendet werden kann.

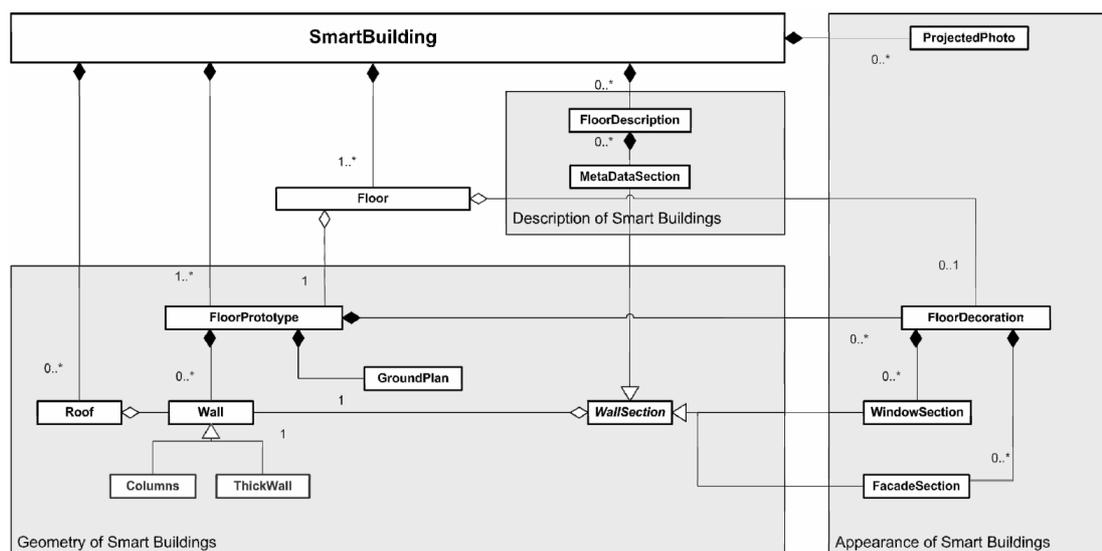


Abbildung 14 UML-Diagramm für SmartBuilding

Der Etagegrundriss besteht aus einem oder mehreren Flächen, die durch einen Außenring und einen Innenring festgelegt werden können. Innenringe können für Innenhöfe oder Lichtschächte verwendet werden. Mehrere Flächen pro Etage kommen bei nicht verbundenen Gebäudeteilen zur Anwendung. Auf Etagen können Dächer erzeugt werden, wahlweise für die gesamte Etage oder nur auf bestimmten Wänden, wichtig für Gebäudeteile. Der Grundriss definiert die Basis der Etage. Ihm kann eine

bestimmte Höhe (Dicke) zugewiesen werden, was für die Konstruktion von Terrassen oder anderen Vorbauten genutzt werden kann.

Wände lassen sich vertikal auf Grundrissen errichten, sind eben und haben standardmäßig die Dicke Null. In dem Fall sind sie als einfache Fläche ausgebildet, mit dem Effekt, nur von außen sichtbar zu sein, bzw. von einer Seite. Wird der Wand eine Dicke zugewiesen, stellt sie einen dreidimensionalen geometrischen Körper dar. Wände dürfen sich per Definition innerhalb einer Etage nicht schneiden, wohl aber dürfen sie über mehrere Etagen errichtet werden, für den Fall, das sich Räume über mehrere Etagen erstrecken. Wände müssen nicht die gleiche Höhe wie die Etage haben, so ist die Modellierung von Brüstungen möglich. Wände können ebenfalls abschnittsweise betrachtet werden. Für die Definition des Erscheinungsbildes der Etage ist die Klasse *FloorDecoration* vorhanden. Sie bezieht sich auf Teile der Wand (*WallSection*), wobei *WallSection* auch die ganze Wand meinen kann. Das Aussehen der Wandsektion kann durch zwei Typen, *FassadeSection* und *WindowSection* definiert werden, wobei erstere die Fassade der gesamten Wand betrifft. Bei einzeln modellierten Fenstern einzeln modelliert, werden Position und Aussehen der *WindowSections* einzeln definiert.

Das Aussehen der Dekoration wird über projektive Texturen erzeugt, die auch für das gesamte Gebäude festgelegt werden können. (Döllner et al. 2005)

Mit diesem einfachen Prinzip der Modellierung können sehr schnell und flexibel Gebäude erzeugt werden. In der zur Verfügung stehenden Version von LandXplorer Studio Professional der Firma 3D Geo ist ein Smart Building Editor in einer Beta-Version integriert. Die erzeugten Einzelgebäude können im CityGML-Format ausgegeben werden. Damit kann in den meisten Fällen auf ein CAD-Tool verzichtet werden, womit Importprobleme vermeidbar sind.

2.6.2 Smart Terrain

In Abschnitt 2 wurde die Thematik Digitaler Geländemodelle erläutert, wobei eine entscheidende Frage offen geblieben ist. Was ist unter Gelände zu verstehen? Für das Problem von Modellierungen im bebauten innerstädtischen Bereich stellt sich diese Frage relativ schnell. Im freien Gelände ist deren Beantwortung noch trivial, das Gelände fällt mit der Erdoberfläche zusammen, aufwachsende Vegetation kann als auf dem Gelände beginnend betrachtet werden.

Anders ist die Situation im Bereich von Straßen. Wird die Straße als Gelände betrachtet, wäre sie Bestandteil des Geländemodells und müsste im Falle von Vektordaten in die TIN-Repräsentation integriert werden. Eine entsprechend genaue Erfassung der Höheninformationen im Gelände wäre Voraussetzung. Am Beispiel einer Bordsteinkante müsste die linienscharfe Bestimmung von Oberkante und Unterkante erfolgen, die dann bei der Triangulation als Bruchkanten eingeführt würden. Bei Raster-DGM erfordert die Modellierung derartiger Straßenbauwerke eine besonders hohe Pixelauflösung.

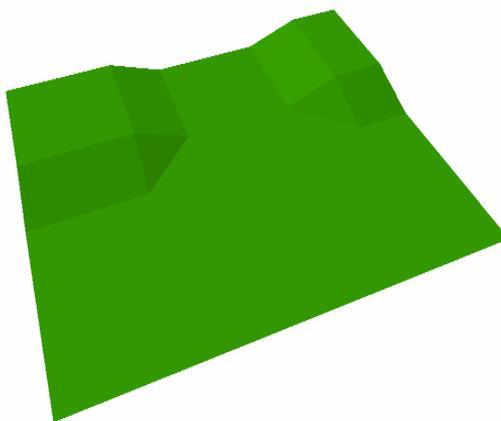


Abbildung 15 Straßeneinmündung als TIN

Werden Straßen als Bauwerke betrachtet, was sie dem Grunde nach sind, müssten sie als solche modelliert werden. Dies kann durch manuelles Editieren der GIS-Daten mit CAD-Werkzeugen erfolgen. Dabei werden die zugrunde liegenden 2D-Daten als Basis für die Erfassung autarker 3D-Modelle genutzt, die anschließend auf der Geländeoberfläche platziert werden. Die Verbindung zum ursprünglichen 2D-Objekt existiert nur durch die gleiche Lage im 3D-Raum. (Zur Modellierung der Gebäude in Projektphase 1 Kapitel 4.7 wurde dieses Verfahren angewendet.)



Abbildung 16 3D-Modellierung mit ArcScene

In (Buchholz et al. 2006) wird die Problematik folgendermaßen erläutert: Werden die Objekte mit CAD- oder GIS-Tools aus den zugrunde liegende 2D-Daten konstruiert ergeben sich folgende Limitierungen:

- keine objektspezifischen Modellierungstechniken
- kein automatisches Aktualisieren bei Veränderung der 2D-Ausgangsgeometrie
- kein Zusammenhang mit den Geodaten der Ausgangsobjekte
- keine Verbindung zu den semantischen Informationen der Geodaten

Nachteile der TIN-Repräsentation:

- Nach der Triangulation existiert kein Bezug des TIN zu den Ausgangsdaten
- keine vertikalen Flächen erzeugbar

Eine akzeptable Lösung bieten spezielle Softwarelösungen zur Landschaftssimulation mittels *Image draping*. Dabei werden die 2D-Daten auf die Geländeoberfläche drapiert und mit Texturen oder Farben belegt. ArcScene bietet diese Möglichkeit, die bei der Visualisierung des Straßenraumes angewendet wurde. Allerdings hat diese Methode Grenzen bei der Darstellung vertikaler oder gepufferter Objekte. Die Bordsteinkanten in Abbildung 16 konnten nur über Umwege korrekt visualisiert werden (vgl. Kapitel 8).

Der Ansatz von *Smart Terrain Models* kann diese Probleme lösen. Basis bilden weiterhin die Objekte der 2D-Daten. Anstatt diese in neue losgelöste 3D-Daten umzuwandeln, werden sie erhalten und mit zusätzlichen 3D-Informationen aufgewertet. Daraus resultieren folgende Vorteile:

- auf die 2D-Ausgangsdaten kann unverändert zugegriffen werden.
- thematische Abfragen sind direkt über die 3D-Objekte möglich
- Während der 3D-Präsentation können 2D-Daten direkt editiert werden. Damit können beispielsweise korrigierte Fehler sofort in 2D oder in 3D sichtbar gemacht werden.
- durch den Zugriff auf die Semantik sind Visualisierungstechniken denkbar, die unmittelbar digitale Bilder erzeugen, die bestimmten Attributen entsprechen

Die Funktionsweise des Prinzips zeigt der folgende *Workflow*:

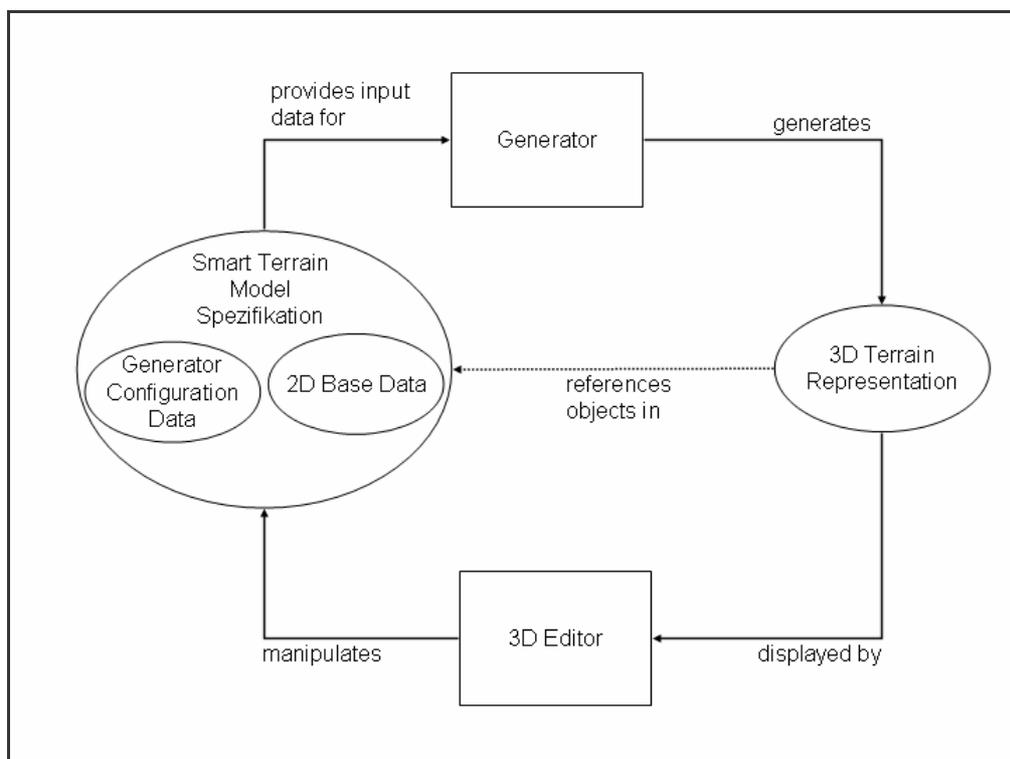


Abbildung 17 Systemüberblick für die automatisch Konstruktion Städtischer Terrain Modelle (Quelle: Buchholz et al. 2006)

Die 2D Basisdaten bestehen aus Vektordaten von Linien und Flächen und zugehörigen Attributen, wie beispielsweise Shape-Dateien. Die Generatorkonfiguration steuert die

Interpretation ihrer Attribute für die 3D-Generierung und verwaltet ein oder mehrere Materialkataloge. Die Wahl des entsprechenden Materials wird ebenfalls durch die 2D-Attributdaten gesteuert. Die Generatorkonfiguration und die Materialkataloge werden als separate XML-Dateien gespeichert. Diese Informationen werden an den Generator übergeben, der die 3D-Präsentation erzeugt. Mit dem 3D-Editor können schließlich die Daten visualisiert und bearbeitet werden. Es können sowohl 2D-Basisdaten, die Generatorkonfiguration und die Materialkataloge editiert werden.

Das *Smart Terrain Model* unterstützt die Klassen *GroundArea* (Grundflächen), *WaterArea* (Gewässer), *Stair* (Treppen) mit den Unterklassen *RegularStair* (regulär) und *IrregularStair* (irregulär), *Wall*(Mauer), *Kerb*(Bord), und *Barrier* (Barrieren) auf die an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden soll. Ausführliche Erläuterungen zum Smart Terrain Modell sind in (Buchholz et al. 2006) beschrieben.

Mit diesem Model ist die Mehrzahl der Objekte im städtischen Gelände definierbar. Für die LandXplorer Software existiert inzwischen eine Umsetzung des Konzepts und wird als „Smart Terrain Editor“ in Kürze verfügbar sein.

3 Lösungsansatz

Ein wesentlicher Zweck virtueller Stadtmodelle ist die Visualisierung dreidimensionaler Objekte. Aus planerischer Sicht sind die vergleichende Darstellung des Ist-Zustandes und die simulierte Situation der betroffenen Objekte nach Realisierung der geplanten Maßnahmen von Interesse. Demzufolge muss die Lösung der Aufgabe den Weg zu einer derartigen Simulation an einem realen Planungsgebiet beschreiben.

Als Testgebiet wird der Bereich des Bauvorhabens "Grundhafter Ausbau der Neundorfer Straße" festgelegt. Die Baumaßnahme beginnt im Jahr 2008, für die Realisierung liegen bereits Planunterlagen vor. Die 2D-Basisdaten dieses Gebietes entstammen dem GIS des Amtes für Geoinformation der Stadtverwaltung Plauen und wurden in Form von *Personal Geodatabases (PGDB)* übergeben.

Für den weiteren Lösungsweg wird ein fiktiver Projektablauf festgelegt, der in zwei Phasen unterteilt ist.

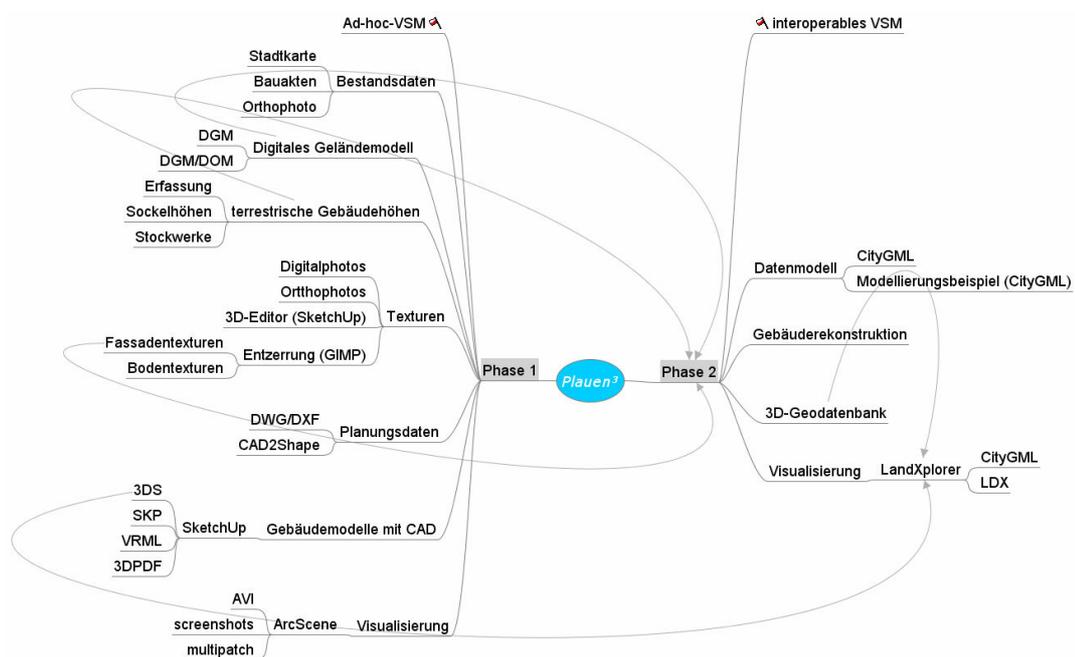


Abbildung 18 Mind Map der zu bearbeitenden Themen im Projektkonzept **Plauen³**

Die Ausgangsdaten werden in einem separaten GIS-Projekt zunächst gespeichert und untersucht.

Die Erstellung des virtuellen Stadtmodells in Phase 1 erfolgt nach dem Prinzip „von unten“. das heißt, es werden ausschließlich Daten verwendet, die auf einer

bodengestützten Erfassung basieren. Sowohl die Ausgangsdaten der Stadtgrundkarte, wie auch die zusätzlich erfassten Daten der Gebäudehöhen resultieren aus terrestrisch erfassten Daten. Die Erfassung erfolgt im Rahmen einer örtlichen Vermessung.

Aus den Ausgangs- und Messungsdaten werden mit Hilfe eines CAD-Werkzeuges Gebäudemodelle erzeugt. Die übrigen Visualisierungsobjekte werden mit Hilfe des zur Verfügung stehenden GIS bearbeitet.

Von allen zu visualisierenden Gebäuden sind bei einer Ortsbegehung Digitalphotos aufzunehmen, die anschließend zu entzerren sind.

Für Phase 2 des Projektkonzeptes ist die Vorgehensweise für den Aufbau eines interoperablen virtuellen Stadtmodells zu erarbeiten und zu dokumentieren. Insbesondere muss auf die Möglichkeiten eingegangen werden, die CityGML für die Datenmodellierung bietet.

Für großräumige virtuelle Stadtmodelle kommen flugzeuggestützte Datenerfassungsmethoden (Prinzip „von oben“) zum Einsatz. Diese sind ebenfalls zu erarbeiten, ebenso wie die nachfolgend nötigen Verfahren der Gebäuderekonstruktion.

Anschließend werden die Ergebnisse aus dem ersten Teil der Arbeit mittels 3D-Software visualisiert und weitere Möglichkeiten der Erzeugung CityGML konformer 3D-Daten am praktischen Beispiel dargestellt.

Für die Arbeiten kommen folgende Werkzeuge zum Einsatz:

Tabelle 5 Übersicht der eingesetzten Werkzeuge

Werkzeug	Name	Hersteller
Laser-Distanzmessgerät	PD42	HILTI
GIS	ArcView 9.0, 3D Analyst	ESRI
CAD	SketchUp professional, V.5	GOOGLE
DXF-Konverter	CAD2Shape	GUTHCADSoft
3D-Software	LandXplorer Studio professional	3D GEO
XML-Editor	XML Notepad 2007	MICROSOFT
PM-Software	Projekthandbuch-xs	NEXT LEVEL

4 Projektkonzept *Plauen*³

Das Konzept ist in 2 Phasen gegliedert.

Phase 1 versteht sich im Sinne eines Ad-hoc-Vorgehens als Startphase, in der unter Ausnutzung der vorhandenen Hard- und Softwareressourcen und der gegenwärtig verfügbaren Daten das Ziel verfolgt wird, ein aktuelles Planungsgebiet dreidimensional zu visualisieren. Mit der Visualisierung soll einerseits gezeigt werden, in welchem Maße eine dreidimensionale Darstellung Planungsszenarien, welche bisher nur anhand von Plänen diskutiert werden konnten, auf neue Art und Weise illustrieren und die notwendigen Entscheidungsprozesse wirkungsvoll unterstützen kann. Das Ergebnis dieser ersten Phase kann nach den gültigen Definitionen als Virtuelles Stadtmodell verstanden werden, muss auf fachlicher Ebene allerdings als Insellösung betrachtet werden. Wesentliches Manko dieser Lösung ist die eingeschränkte Interoperabilität. Das resultierende VSM ist ausschließlich zu gleichartigen Systemen kompatibel, da es Formate verwendet, die zwar durch die Marktführerschaft des Softwareanbieters als Quasistandard bezeichnet werden können, andere Systeme, speziell Nicht-GI-Systeme vom problemlosen Datenaustausch ausschließt. So liegen die modellierten Gebäude primär im ESRI-Multipatch-Format vor, die gegenwärtig nicht ohne weiteres in CAD-Systeme überführbar sind. Parallel werden jedoch die Datenformate 3DS und KMZ/KML abgeleitet, die sich in jedem Fall weiter nutzen lassen. Dies wird in den Beispielen in Phase 2 gezeigt.

Im Ergebnis der Phase 1 liegen weiterhin Beschreibungen von Arbeitsabläufen vor, die für die Phase 2, den Aufbau eines interoperablen virtuellen Stadtmodells, unabdingbar notwendig sind. So sind beispielsweise die Erstellung des DGM, die Erfassung von Traufhöhen, die Erstellung von verschiedenen Texturen oder die Erstellung von 3D-PDF-Dokumenten Arbeiten, die im künftigen VSM nutzbar sind und auch in dieser Phase weiter abzarbeiten sind.

Im Gegensatz dazu werden beim Prinzip „von oben“ Daten der Aerophotogrammetrie, also Luftbilder genutzt. Der Vorteil terrestrisch gewonnener Daten besteht in einer höheren Genauigkeit. Nachteilig ist die aufwändige Erfassung der Daten, woraus ihre Beschränkung auf relativ kleine Räume resultiert. Ein entscheidender Nachteil des Prinzips „von unten“ ist die Unmöglichkeit der Datengewinnung in Bereichen, die vom

Boden aus nicht messbar sind. So bleibt die Konstruktion von Dachlandschaften weitestgehend unmöglich und den Verfahren des Prinzips „von oben“ vorbehalten. Für die Anforderungen, die aus dem Visualisierungsauftrag des Planungsgebietes „Neundorfer Straße“ resultieren, genügt eine Darstellung der Dachlandschaften im Sinne der Wiedererkennbarkeit der Objekte. Demzufolge wurden die Dachkonstruktionen plausibel generiert. Eine gute Datengrundlage für bestehende Objekte stellen hier die Bauakten der Stadt dar, nach denen die Erstellung hinreichend genauer Gebäudemodelle möglich ist. Die Nutzung dieser Unterlagen und die Arbeitsabläufe der Phase 1 stellen im Übrigen die einzigen Möglichkeiten dar, historische Stadtmodelle zu erzeugen.

Letztlich können die sowohl die positiven wie die negativen Ergebnisse aus Phase 1 Kriterien zur Etablierung eines interoperablen Stadtmodells und dessen Ausprägungen in Phase 2 sein. Mit den realisierbaren dreidimensionalen Produkten der kostengünstigen Startphase lassen sich die Möglichkeiten ihres Einsatzes bei potentiellen Kunden wie Stadtplanung, Wirtschaft, Tourismus oder Medien testen, ihre Begrenztheit, beispielsweise hinsichtlich der Flächendeckung für das gesamte Stadtgebiet kann für die Entscheidungsfindung einer weiterer Entwicklung aufschlussreich sein. Letztlich fließen die Erfahrungen aus Phase 1 in die Systemanforderungen eines künftigen interoperablen Stadtmodells ein.

Für die künftige Projektrealisierung werden Hinweise gegeben, die aus den einzelnen Arbeitsschritten resultieren. Beim Fehlen technischer Voraussetzungen werden die nötigen Arbeitsschritte theoretisch beschrieben.

Der Zusammenhang der Phasen 1 und 2 ist in Abbildung 20 verdeutlicht.

Dabei bilden die Ergebnisse einerseits die Basis für den Einstieg in die zweite Phase, sind andererseits aber autark und garantieren deren Investitionssicherheit, wobei sich die Investitionen nicht monetär darstellen, sondern sich als Arbeitsaufwand verstehen. Zwei optionale Arbeitspakete ergänzen diesen Teil des Projektes.

4.1 Projektstruktur

Der folgende Projektstrukturplan repräsentiert das fiktive Projektkonzept **Plauen**³ mit den Phasen 1 und 2. Dabei übernimmt die Stadt Plauen die Rolle des Auftraggebers. Die farbig dargestellten Arbeitspakete stellen Arbeitsabläufe (*workflows*) dar, die in den angegebenen Kapiteln beschrieben sind.

Die *workflows* können nach dem Baukastenprinzip zu unterschiedlichen Realisierungsvarianten zusammengestellt werden. Dabei sind die in Gelb dargestellten als optionale Arbeitspakete zu betrachten. Folgende Varianten sind möglich:

1. nur Phase 1 in allen Kombinationen
2. Phase 1 und Phase 2 ohne Optionen
3. Phase 1 und Phase 2 mit Optionen

Eine kommentierte Zusammenstellung dieser Varianten erfolgt in Kapitel 6 „Interpretation der Ergebnisse“.

Weiß dargestellte Arbeitspakete sind keine *workflows*. Im linken Ast „Projektmanagement“ sollen sie verdeutlichen, dass es sich bei der Realisierung des vorliegenden Konzeptes um ein Projekt handelt, dass nach den Regeln des Projektmanagements bearbeitet werden sollte.

Der rechte Ast „Übersichten“ dient zur übersichtlichen Einordnung der jeweiligen Kapitel.

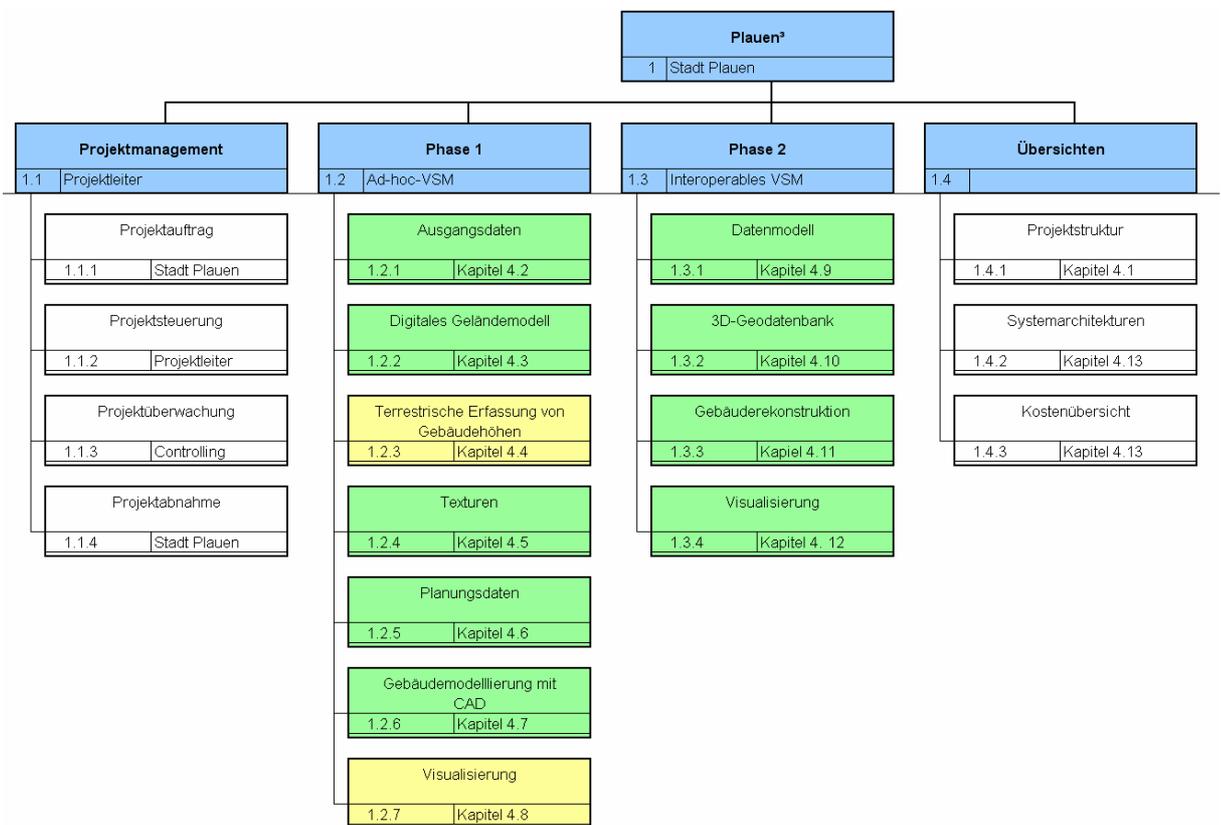


Abbildung 19 Projektstrukturplan des Projektkonzepts *Plauen*³

4.2 Ausgangsdaten

Die Ausgangsdaten für das Planungsgebiet „Neundorfer Straße“ wurden vom Amt für Geoinformation auf einer CD-ROM geliefert, die folgende Daten enthält:

Tabelle 6 Ausgangsdaten Teil 1

Verzeichnis	Inhalt	Format	Ausdehnung
Orthophoto	Orthophoto,	GeoTIFF	~ 6 km x 5,6 km = 33,6 km ²
Stadtkarte	Stadtkarte	PGDB	~ 1200 m x 450m = 0,6 km ²
Plauen_HL	Höhenlinien, Äquidistanz: 5m	ASCII, DWG, MULTIPATCH	~ 17,7 km x 8,2 km = 145,1 km ²

Der Inhalt der Personal Geodatabase kann der folgenden Tabelle entnommen werden:

Tabelle 7 Ausgangsdaten Teil 2

Feature Dataset	Feature Class	Shape	Verwendung in Master Thesis
Flurstücke	Flurstücksfläche	Fläche	Nein
	Grenzpunkte	Punkt	Nein
Gebäude	Gebäude_Eigenname_Text	Punkt	Nein
	Gebäudeausgestaltung_Fläche	Fläche	Nein
	Gebäudeausgestaltung_Linie	Linie	Nein
	Gebäudefläche	Linie	Ja
	Gebäudefläche_sonstige	Linie	Nein
	Gebäudenutzung_Text	Punkt	Nein
Hydrologie	Hausnummer_Text	Punkt	Nein
	Gewässer_fließend_Fläche	Fläche	Nein
	Gewässername_fließend_Text	Punkt	Nein
INTERN	Punkte	Punkt	Nein
Nutzung_Bewuchs	Bäume	Punkt	Ja
	Nutzung_Bewuchs_Linie	Linie	Nein
	Nutzung_Bewuchs_Punkt	Punkt	Nein

	Nutzungsart_Flächensymbol	Punkt	Nein
	Nutzungsartengrenze	Linie	Nein
Relief	Böschungen	Linie	Nein
	Treppe_Fläche	Fläche	Nein
	Treppe_Schraffur	Linie	Nein
	Treppe_Steigrichtung	Punkt	Nein
Topographie	Mauer	Fläche	Nein
	MauerSchraffur	Linie	Nein
	Stützmauer	Fläche	Nein
	StützmauernSchraffur	Linie	Nein
	Topographie_Fläche	Fläche	Nein
	Topographie_Linie	Linie	Nein
	Topographie_Punkt	Punkt	Nein
	Topographie_Text	Punkt	Nein
	Zaun	Linie	Nein
Ver_und_Entsorgung_intern	Fernsprechhäuschen	Punkt	Ja
	Gullys	Punkt	Nein
	Hydranten	Punkt	Nein
	Leuchten	Punkt	Ja
	Masten	Punkt	Ja
	Merkzeichen	Punkt	Nein
	Schaltanlagen	Punkt	Nein
	Schieber	Punkt	Nein
	Schnittgerinne	Linie	Nein
	Schächte	Punkt	Nein
	Trafo_Blitz	Punkt	Nein
	Trafo_Gebäude	Fläche	Nein
Verkehr	Befestigungsart_Text	Punkt	Nein
	Befestigungsartengrenze	Linie	Nein
	Brücke	Fläche	Nein
	Gleisachse_Straßenbahn	Linie	Ja
	Straße_Weg_bef	Linie	Nein

	Straße_Weg_unbef	Linie	Nein
	Straßennetz_mit_Name	Linie	Nein
	Verkehr_Linie	Linie	Nein
	Verkehr_Punkt	Punkt	Nein
	Verkehr_Text	Punkt	Nein

Nach Sichtung und Auswahl der Daten wurde zunächst jene in ein neues ArcMap-Projekt eingelesen, die den Ist- Zustand des Planungsgebietes repräsentieren. Wie obiger Tabelle zu entnehmen ist, wurde dabei nur eine Teilmenge der Features berücksichtigt. Dabei wurde auf jene Objekte verzichtet, die im Bereich der „Neundorfer Straße“ nicht vorkommen, wie Brücken oder Gewässer. Andere Features wie Schaltkästen oder Hydranten wurden zugunsten einer besseren Übersicht nicht berücksichtigt. Anschließend wurde die Datenmenge mit Clip- und Bufferoperationen auf den projektrelevanten Bereich von ca. 1100 m x 400 m, also ca. 0,5 km² eingegrenzt. Alle Daten wurden in Featureklassen einer PGDB gespeichert.

Die Planungsdaten in den Formaten DXF und DWG wurden vom Planungsbüro ROSSIG – SCHENK & PARTNER ebenfalls auf CD-ROM zur Verfügung gestellt.

4.3 Digitales Geländemodell

Ein Digitales Geländemodell (DGM) stand für das zu betrachtende Gebiet nicht zur Verfügung, wohl aber digitalisierte Höhenlinien.

Aus den in Kap 2.4 erwähnten Gründen wurde versucht, die Höhenlinienpunkte mit gegebenen Höhenpunkten zu stützen. Im Originaldatensatz der Stadt Plauen fand sich in der *Personal Geodatabase* „Stadtkarte“ die *Feature Class* „Punkte“. Dabei handelt es sich um originär gemessene Punkte, von denen diejenigen mit Höheninformationen extrahiert wurden. Erfolg versprechend erschienen vor allem die querprofilartig gemessenen Punkte im Bereich der Straßenbahngleisachsen.

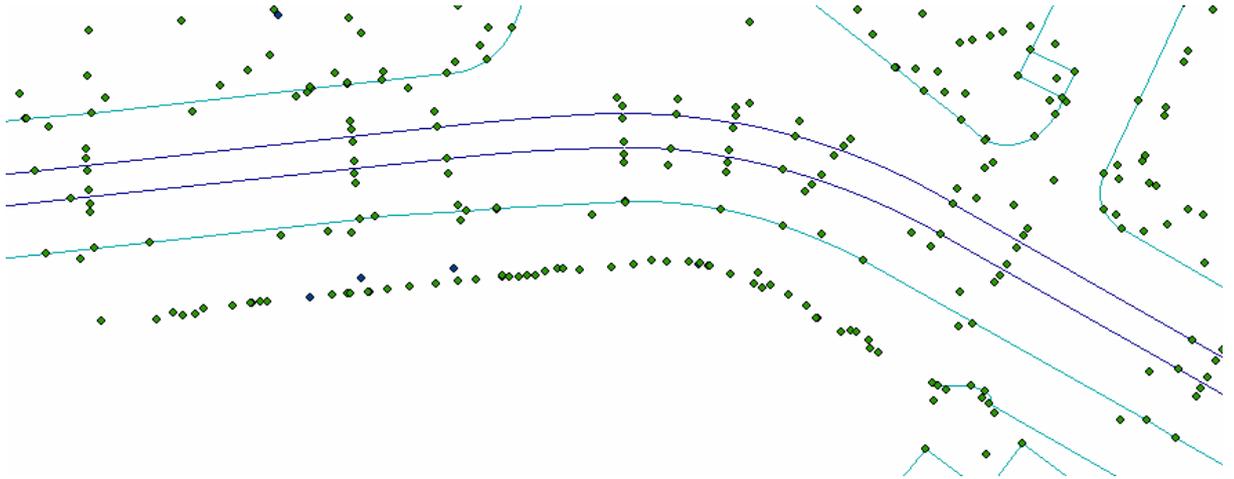


Abbildung 20 Profilpunkte im Gleisbereich

Diese Punkte wurden in die TIN- Berechnung einbezogen. Im Bereich der Straßenflächen lässt sich nach der Berechnung deutlich eine Struktur erkennen. Die nicht regelmäßig gemessenen Punkte im Bereich der Fußwege und des aufsteigenden Mauerwerkes der Gebäude erzeugen allerdings eine „unruhige“ Oberfläche und unrealistische Kämme im Bereich der Höhenlinien.

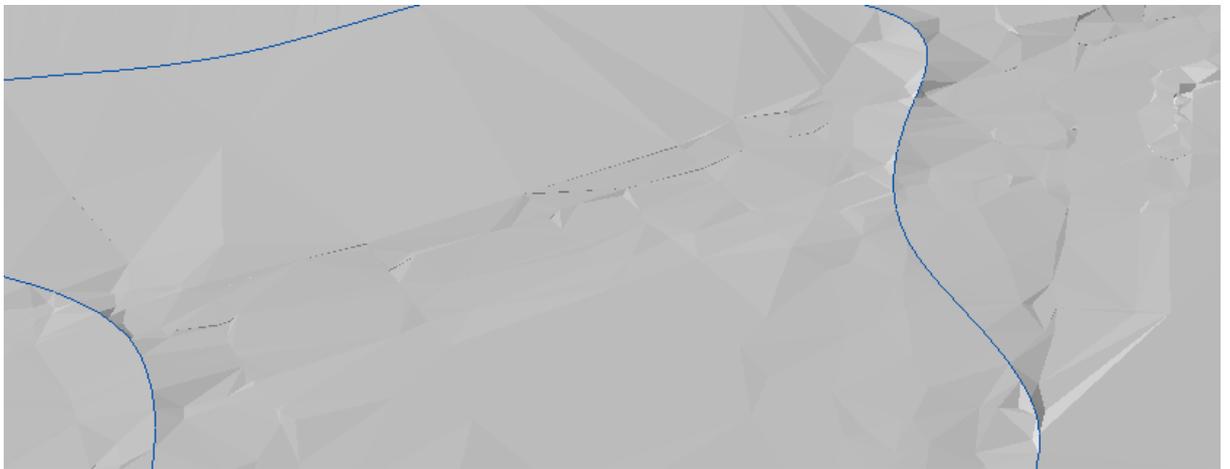


Abbildung 21 Straßenstruktur im TIN

Werden beispielsweise extrudierte Bordsteine auf einem derartigen TIN visualisiert, tritt dieser Effekt besonders unschön zutage.



Abbildung 22 unrealistischer Visualisierungseffekt

Auf die Einbeziehung gemessener Punkte wurde in der Folge verzichtet und das TIN wurde mangels besserer Ausgangswerte aus den digitalisierten Höhenlinien berechnet. Das erhaltene TIN wirkt harmonischer, wenngleich bekannte negative Effekte immanent sind, d.h. vergleichsweise viele lang gestreckte zueinander geneigte Dreiecke ergeben eine von Knicken durchzogene Fläche, wie sie im innerstädtischen Bereich normalerweise nicht vorkommt, da beispielsweise Straßenflächen eben nicht geknickt sind. Für die Visualisierung des Testgebietes bleiben diese negativen Effekte jedoch hinreichend gering.

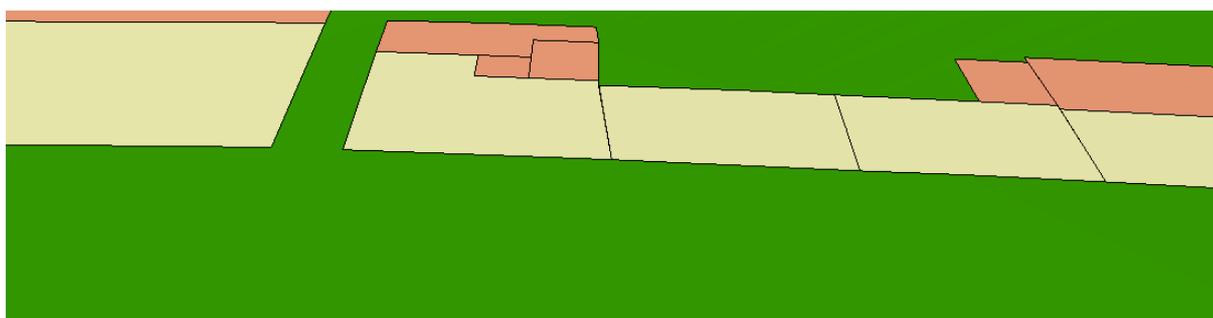


Abbildung 23 TIN aus Höhenlinien mit Gebäudegrundrissen

Ein anderer unerwünschter Effekt, das scheinbare Durchdringen des TIN bei größeren aufliegenden Flächen resultiert aus der Koplanarität zweier zu visualisierender Flächen in Abhängigkeit des Zoomfaktors (Kersting/Döllner 2002). Eliminiert werden kann dieser Effekt durch eine TIN- Manipulation im ArcView 3D Analyst: <<Add Feature To TIN_Triangulate as_hard erase>>. Damit wird das TIN unter den entsprechenden Features ausgeschnitten, die Features selbst füllen anschließend das entstandene Loch,

insofern sie vorher in 3D- Features umgewandelt wurden, bei denen die zugehörigen Höhen vom Ausgangs-TIN übernommen wurden. (3D- Analyst, Funktion: <<Convert_features_to_3D>>).

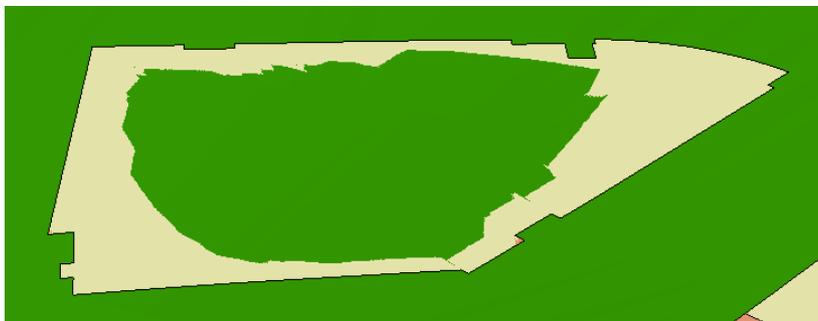


Abbildung 24 Überlagerungseffekt zweier Layer

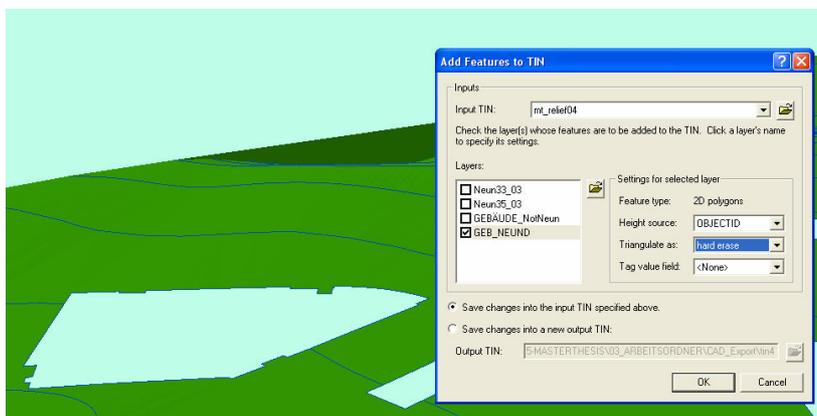


Abbildung 25 Featurekonvertierung

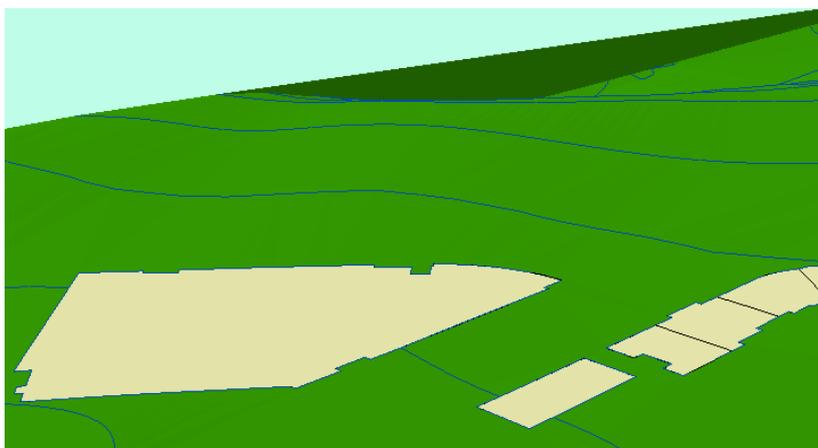


Abbildung 26 kein Überlagerungseffekt

Schlussfolgerung für die künftige Erfassung eines DGM

Isolinien können bei der kartographischen Visualisierung für den kundigen Kartenleser eine gute Repräsentation der Höheninformation darstellen. Deshalb sollten sie bei der Ausgabe zweidimensionaler Produkte wie Karten, Pläne oder zweidimensionaler Bildschirmausgaben nach Bedarf aus dem DGM abgeleitet werden. Meist müssen die automatisch nach mathematischen Algorithmen noch einer kartographischen Prüfung und Verbesserung unterzogen werden. Höhenliniendarstellungen sind somit Produkte, die aus dem DGM erzeugt werden, nicht umgekehrt!

Für die Erstellung eines virtuellen Stadtmodells ist die Erfassung von Höhendaten für ein DGM im Zusammenhang mit der Gebäuderekonstruktion zu betrachten. Grundsätzlich kommen für beide Aufgaben Verfahren der Aerophotogrammetrie und/oder die Auswertung der Ergebnisse flugzeuggetragener Laserscans in Frage.

Ein kostengünstiger Weg zu einem homogenen Basis-DGM ist die Nutzung der Ergebnisse aus *Laserscanning*-Daten des Sächsischen Landesvermessungsamtes. Hier kommt das ATKIS-DGM2 mit einer Rasterweite von 2m in Betracht, das für den Bereich Plauen bereits vorliegt. Beispielhaft wurden die Testdaten aus dem Stadtgebiet Zwickau verarbeitet in denen topographische Strukturen wie Stadion, Flussbett und Straßennetz deutlich werden. Für die konkrete Nutzung dieser Daten ist der Erwerb der Rohdaten in Betracht zu ziehen. Aus der Punktwolke lassen sich DGM und das Digitale Oberflächenmodell (DOM) berechnen.

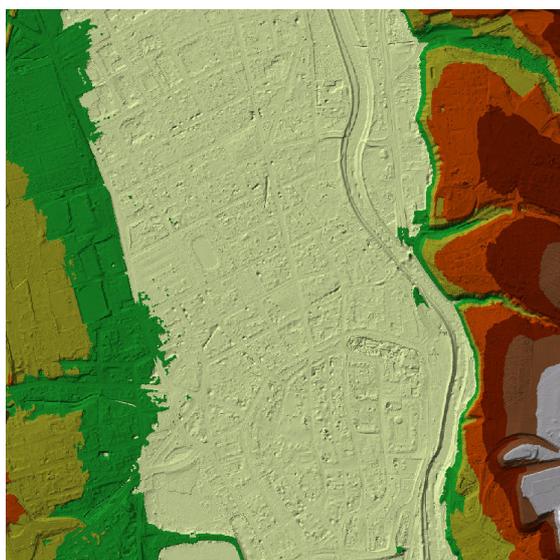


Abbildung 27 DGM2



Abbildung 28 DGM2 texturiert

Liegt das DGM vor, kann die TIN- Berechnung durch die Berücksichtigung von Bruchkanten verfeinert werden. Zu Bruchkanten können verschiedene bereits erfasste topographische Elemente wie Stützmauern und Böschungen definiert werden. Des Weiteren können örtliche, projektbezogene Vermessungen zur Erzeugung von Bruchkanten genutzt werden. Querprofile sind an ihren jeweiligen zusammengehörigen Punkten i (Fußweg_Ende_rechts(i), Fußweg_Anfang_rechts(i), OK_Bord_rechts(i), UK_Bord_rechts(i),..., Fußweg_Ende_links(i)) zu Linien zu verbinden, die im DGM als Bruchkanten dienen. Beispielhaft wurde dieses Vorgehen mit den querprofilähnlichen Punkten im Gleisbereich für einen kleinen Abschnitt durchgeführt. Die jeweils außen liegenden Punkte wurden zu Linien verbunden, diese wurden dem TIN als Bruchkanten hinzugefügt. Ergebnis ist eine erkennbar separierte Fläche innerhalb des TIN. Zu beachten bleibt die 2,5D/3D- Problematik (siehe Kapitel 2.6.2).

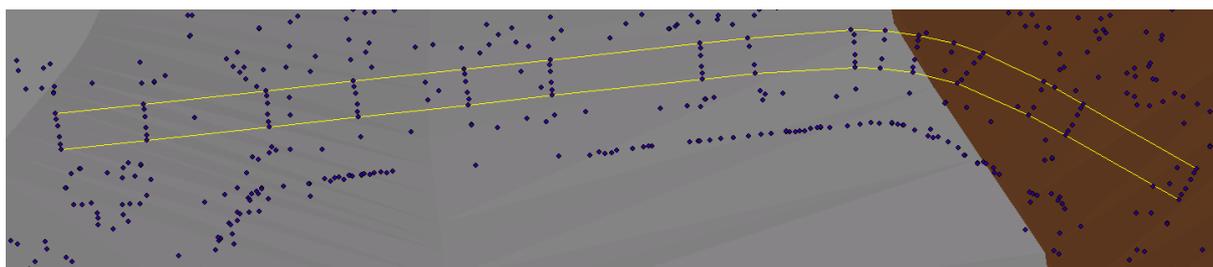


Abbildung 29 Bruchkantentest Teil 1

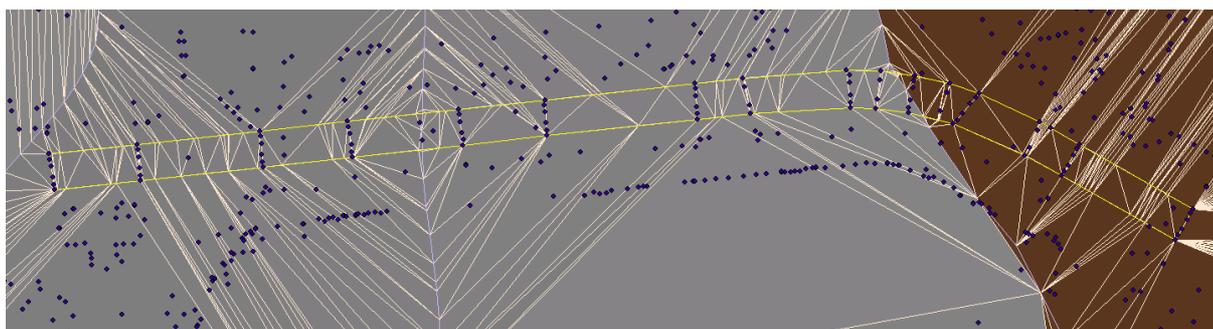


Abbildung 30 Bruchkantentest Teil 2

Für die Bearbeitung derart hoch auflösender DGM ist grundsätzlich entsprechende Hardware vorzusehen*. Mit Einführung des Datentyps „Terrain“ ab ArcView 9.2 sollte

* Zur Erzeugung obiger Abbildungen mit ArcScene stand ein aktueller PC mit 2GB Hauptspeicher zur Verfügung, der für Rendering maximale den ersten Bildaufbau bis 5 Minuten, für Zoomoperationen ca. 1 Minute benötigte. Allerdings unterstützt das Betriebssystem Windows XP[®] noch nicht die vorhandene Doppelkerntechnologie.

die Verarbeitungsgeschwindigkeit größerer Punktdaten (z.B. LIDAR) deutlich verbessert sein. Auch die Filterung der Gesamtdatenmenge ist eine Möglichkeit, die Verarbeitungsgeschwindigkeit zu verbessern. Dazu kann ein Toleranzbereich gewählt werden, bis zu dem Höhenunterschiede als gleich gelten. Mit abnehmender Bewegtheit des Geländes lässt sich die Datenmenge drastisch reduzieren. Zur Steigerung der Performanz ist zunächst die Bearbeitung von kleineren Bereichen günstig. Man wählt Quadrate mit einer Kantenlänge 1 km entlang des gegebenen Höhenrasters und erhält TIN-Kacheln von jeweils einem km², die in einzelnen Layern gespeichert werden, die insgesamt gruppiert werden. Dies ermöglicht eine flexible Darstellung des TIN wahlweise im Bearbeitungsgebiet oder im gesamten Stadtgebiet.

Betrachtet man den Aufbau von virtuellen Stadtmodellen in der einschlägigen Literatur, folgt auf die Erstellung des DGM eine Projektion verschiedener Rasterdaten auf die Geländeoberfläche. In den meisten Fällen werden farbige Orthophotos verwendet, seltener Schwarz-Weiß-Bilder, relativ häufig aber auch Stadtpläne oder Topographische Karten.



Abbildung 31 Textur in verschiedenen Ansichten: links Flußbett, Mitte Kerbtal, rechts Straßenverlauf

Das Rasterbild muss für diesen Zweck georeferenziert werden. Dabei werden Punkten des Bildkoordinatensystems identische Punkte des raumbezogenen Modellkoordinatensystems zugeordnet, qualitativ bewertet und anschließend transformiert. Häufig sind in den zum Einsatz kommenden Softwareprodukten Werkzeuge für derartige Transformationen enthalten. Möglich ist auch, die Georeferenzierung (auch Rektifizierung genannt) mit externer Software zu berechnen oder bereits georeferenzierte Rasterdaten zu verwenden. Die Landesvermessungsämter

vertreiben beispielsweise georeferenzierte Orthophotos in verschiedenen Formaten. Georeferenzierte Rasterdaten sind jedoch nach wie vor zweidimensional, das heißt, jedem Pixel sind Koordinaten des raumbezogenen ebenen Koordinatensystems zugeordnet, beispielsweise amtliche Gauß- Krüger- Koordinaten.

Diese 2D- Rasterdaten werden spannungsfrei auf das DGM „gelegt“, die Vorstellung einer spannungsfrei aufliegenden Folie entspricht dem Ergebnis dieses, Texturierung genannten Vorganges. Das digitale Bild wird zur Textur des DGM. Werden hierfür farbige Orthophotos verwendet, entsteht vor allem im freien Gelände ein sehr realistisches Bild der Landschaft. Für das Planungsgebiet stand ein Schwarz-Weiß-Orthophoto mit einer Bodenauflösung von 40 cm zur Verfügung. Dies erscheint für die Visualisierung zu grob und vermindert den Informationsgehalt. Deshalb wurde auf eine texturierte DGM-Oberfläche verzichtet.

4.4 Terrestrische Erfassung von Gebäudehöhen

Zur Definition der Gebäudehöhe wird das Gesamtgebäude (Objekt) zunächst in drei Teile zerlegt, die sich sowohl am Bauablauf in der Realität, als auch am Gebäudemodell, wie es in CityGML beschrieben wird, orientieren. Der Sockel, bautechnisch das Fundament, erhebt sich aus dem Gelände, auf dem Sockel wird das Gebäude errichtet, das die Dachkonstruktion trägt.

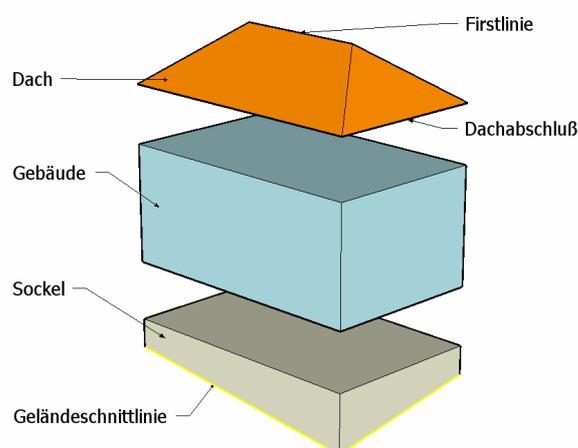


Abbildung 32 Gebäudebauteile

Für die Definition der Gebäudehöhe existieren unterschiedliche Definitionen. So wird im ATKIS- Objektartenkatalog die Objekthöhe zwar als Attribut geführt, jedoch nicht definiert.

Im ALKIS- Objektartenkatalog (www.adv-online.de (26.8.2007)) wird die „Objekthöhe“ als Abstand zwischen „höchstem Punkt der Dachkonstruktion und der festgelegten Geländeoberfläche“ definiert. Problematisch ist die Anwendung dieser Definition im geneigten Gelände. Hier ergeben sich unter Umständen verschiedene „Objekthöhen“.

Auch das Baurecht bietet keine klare Definition für die Gebäudehöhe. Paragraph 2 „Begriffe“ der Thüringer Bauordnung definiert: „Höhe ... ist das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, an den zum Anleitern bestimmten Stellen über der Geländeoberfläche.“ ("ThürBO" 2004) Die Sächsische Bauordnung bestimmt im gleichen Paragraphen: „Höhe ... ist das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, über der Geländeoberfläche im Mittel.“ ("SächsBO" 2004) In den jeweiligen Paragraphen 6 „Abstandsflächen, Abstände“ wird die Wandhöhe gleich lautend wie folgt definiert: „Die Tiefe der Abstandsfläche bemisst sich nach der Wandhöhe. Sie wird senkrecht zur Wand gemessen. Wandhöhe ist das Maß von der Geländeoberfläche bis zum Schnittpunkt der Wand mit der Dachhaut oder bis zum oberen Abschluss der Wand.“

Auf der Traufseite betrifft der erwähnte Schnittpunkt des aufsteigenden Mauerwerks mit der Dachhaut den so genannten Traufpunkt. Betrachtet man Wand- und Dachfläche ergibt sich als Schnittfigur die Trauflinie, die in der Regel nicht mit dem Dachabschluss identisch ist. Die Trauflinie ist demnach eine nicht direkt messbare Konstruktionslinie am Gebäude. Der Dachabschluss ist, von Ausnahmen abgesehen, sehr wohl messbar. Die Ausnahmen betreffen zum Beispiel innen liegende Entwässerungen, wie sie an Flachdächern vorkommen (Abbildung 34). In diesen Fällen kann die Gebäudehöhe aus den Wandhöhen bestimmt werden.

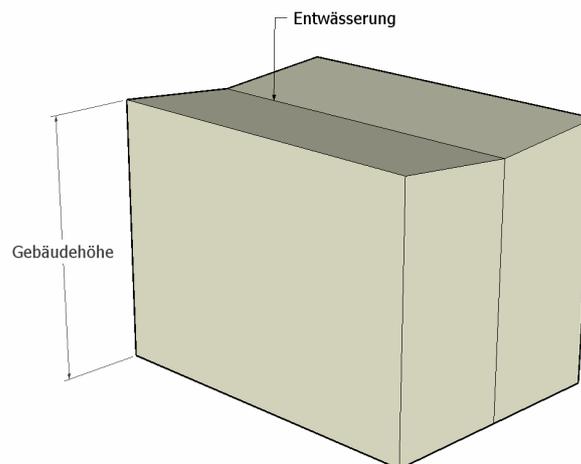


Abbildung 33 Gebäude mit innen liegender Traufe

Bei Betrachtung von Standarddachformen ist augenfällig, dass sich die Dachkonstruktion zwischen Firstlinie und Dachabschluss befindet, wobei letzterer im Bereich der Traufe mit dem Verlauf der Dachrinne übereinstimmt.

Der Dachabschluss ist bei terrestrischen und luftgestützten Messverfahren erfassbar, die Firstlinie in der Regel nur bei Letzterem.

Das Objekt kann grundsätzlich aus den dreidimensionalen Koordinaten, die die Dachflächen repräsentieren und aus dem bis zu diesen Flächen aufsteigendem Mauerwerk rekonstruiert werden. Diese Rekonstruktionsweise führt automatisch zu richtigen Dachüberständen.

Die Objekthöhe setzt sich aus der Gebäudehöhe und der Höhe der Dachkonstruktion zusammen.

Bei der terrestrischen Messung im innerstädtischen Bereich ist die Ermittlung der Dachkoordinaten selbst mit reflektorlosen Tachymetern nur mit hohem Aufwand möglich und kann nicht als generelle Erfassungsmethode empfohlen werden. Wo möglich, sollten künftig bei örtlichen Vermessungen die Gebäudehöhen der jeweiligen Umgebungsbebauung mit erfasst werden.

Bei Ermittlung der Gebäudehöhe durch Messung des Dachabschlusses ist eine Rekonstruktion des Gebäudes (ohne Dach!) möglich und damit eine hohe LOD1-Genauigkeit erreichbar. Bei unterschiedlich hohen Dachabschlüssen wird das Gebäude in Gebäudeteilen erfasst.



Abbildung 34 Gebäudeteile, Quelle: (Gröger et al. 2007)

Für LOD2 können definierte Standarddächer verwendet werden, deren Ausprägung beim Aufmessen attributiv mit erfasst wird.

Für 52 Gebäude, die unmittelbar an der Neundorfer Straße liegen, wurden die Gebäudehöhen terrestrisch erfasst. Dabei wurden pro Gebäude an mindestens 2 Stellen Messungen vorgenommen. Gemessen wurde jeweils der minimale und maximale Abstand von Gelände zu Dachrinne auf Dezimeter gerundet. Aus den beiden Gebäudehöhen kann der Niveauunterschied des Sockels berechnet werden.

Zur Messung kam der Laser- Distanzmesser PD42 der Firma Hilti zum Einsatz. Das Gerät verfügt über eine Zieleinrichtung mit Winkelprisma, mit der das Zielobjekt sehr gut anvisiert werden kann. Leider stand die optional erhältliche Stabverlängerung nicht zur Verfügung. Deshalb musste die Gebäuhöhe additiv ermittelt werden, das heißt dass Messgerät wurde zur Anzielung des Höhenpunktes in Augenhöhe an die Gebäudewand angelegt, der Abstand Messgerät – Dachrinne wurde gemessen, anschließend wurde das Gerät um 200 gon gedreht, der Abstand Messgerät – Geländeoberfläche gemessen, mittels Additionsfunktion des Gerätes die endgültige Höhe ermittelt und protokolliert. Dieses Vorgehen verlängerte die Messzeit, da pro Gebäude mindestens vier Messungen erfolgten. Durch Verwendung der Stabverlängerung, deren *Offset* automatisch bei der Montage berücksichtigt wird, kann dieses Verfahren deutlich abgekürzt werden. Erfolgt die Protokollführung im Zwei-Mann-Messtrupp verringert sich die Messzeit noch einmal. Die Messung der 52 Gebäude dauerte mit dem beschriebenen Verfahren ca. 3 Stunden und kann damit als effizient gelten. Bei Ausnutzung der beschriebenen

rationelleren Arbeitsweise kann im innerstädtischen Bereich mit dichter Bebauung realistisch von einem Tagespensum von 200 gemessenen Gebäuden ausgegangen werden.

Im einfachsten Fall können Gebäudehöhen durch Multiplikation der Geschoßanzahl mit der Geschoßhöhe errechnet werden. Geschoßhöhen sind jedoch in der Regel nicht exakt bekannt und können nur geschätzt zum Ansatz gebracht werden. Abweichungen ergeben sich aus unterschiedlichen Geschoßhöhen innerhalb eines Gebäudes, unterschiedlichen Baujahren und Baustilen und aus unterschiedlichen Geschoßdefinitionen (Mansarden, Vollgeschosse, Souterrains, etc.). Für die Umgebungsbebauung des Planungsgebietes wurden die Gebäudehöhen in dieser parametrisierten Form ermittelt.

4.5 Texturen

Texturen sind ein zentrales Thema in der Computergrafik. Beim Vorgang der Texturierung werden Geometrieobjekte (Flächen) in Fragmente unterteilt, denen so genannte Texel zugeordnet werden, wobei die Analogie zu Pixel offensichtlich ist. Pixel steht für Picture Element, dem kleinsten Informationsträger im Digitalen Bild, Texel demnach für Texturelement. (Döllner & Baumann 2005)

Die Verwendung von Texturen bleibt somit hybriden GI-Systemen vorbehalten, die Vektor- und Rasterdaten in kombinierter Form verarbeiten können, wobei derartige GIS heute Standard sind. Limitiert bleibt die Verwendung von Texturen und deren qualitative Präsentation dennoch von der verwendeten Grafik- Hardware und den verfügbaren Grafikstandards. Dies sollte bei der eingesetzten Rechentechnik berücksichtigt werden.

Texturen dienen der Dekoration von Oberflächen. Auf ebenen Flächen kann man Texturen mit Tapeten im Wohnbereich vergleichen. Im Gegensatz zu Tapeten sind Texturen nicht körperlich, sondern es handelt sich um Rasterdaten, die mittels mathematischer Algorithmen auf die jeweiligen Flächen transformiert werden. Dieser Vorteil kann bei der Texturierung nicht ebener Flächen genutzt werden. Texturen „reißen“ nicht, sie überziehen die digitale Fläche spannungsfrei. Allerdings kann es

dabei zu erheblichen Verzerrungen kommen, beispielsweise bei Texturierung stark überhöhter DGM.

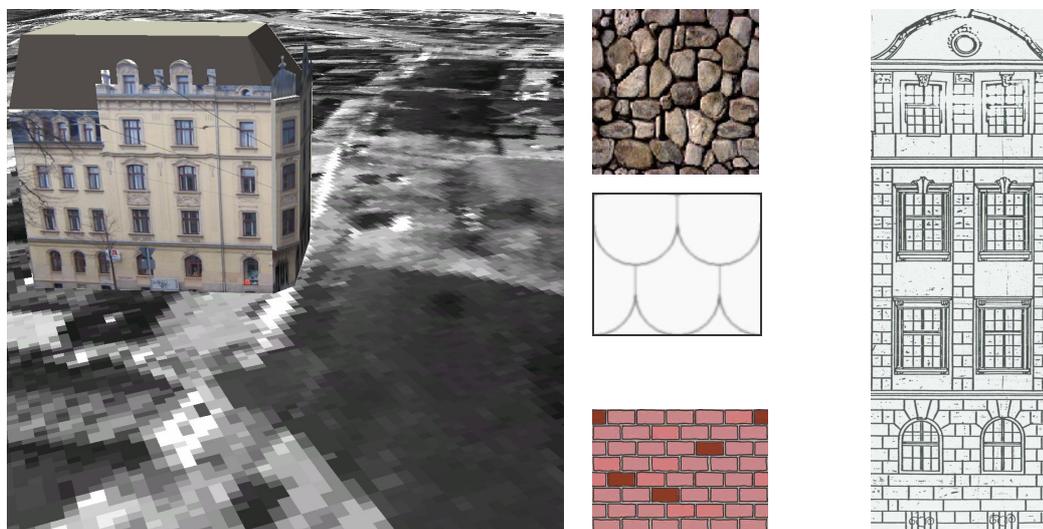


Abbildung 35 verschiedene Texturen

Texturen können in projizierte Texturen und Mustertexturen unterschieden werden (Döllner et al. 2005). Im ersten Fall wird ein digitales Bild mittels orthogonaler Parallelprojektion auf eine Fläche gelegt. Mustertexturen füllen eine Fläche lückenlos mit einem Musterbild, ähnlich einer fugenfrei gekachelten Wand. In Abbildung 36 (links) wurde für das Gebäude ein digitales Photo und für die Erdoberfläche bereits erwähntes Orthophoto verwendet, die mittleren Abbildungen zeigen drei Mustertexturvorlagen und rechts wurde ein gescanntes Ausschnitt aus historischen Bauakten zur Texturierung einer Fassade verwendet.

Moderne Texturwerkzeuge erlauben die Generierung so genannter synthetischer Texturen, die den Nachteil der Wiederholung des Vorlagemusters beseitigt. Diese Musterwiederholung bei gleichen „Kacheln“ wirkt bei verschiedenen Materialien, beispielsweise bei marmorierten Flächen störend. Die Erzeugung eines künstlichen Himmels mit Wolkenstrukturen und dessen Spiegelung auf glatten Flächen ist auf herkömmlichem Wege nicht realisierbar. Moderne Texturgeneratoren bilden aus Vorlagen wiederholungsfreie Texturen. (Wolfgang Müller 2005)

Zur Texturierung können normale Digitalphotos verwendet werden. Zu beachten ist, dass Photos Zentralprojektionen der Realwelt darstellen, Texturen jedoch aus orthogonalen Rasterdaten erzeugt werden sollen. Im Idealfall der Aufnahme liegen Bildmittelpunkt und Objektmittelpunkt auf einer Geraden, die senkrecht zu Bild- und

Objektebene verläuft. Dieser Idealfall liegt in der Regel nicht vor und muss zumindest annähernd durch eine projektive Entzerrung der Digitalen Photos hergestellt werden. (vgl. (Kraus 2004))

Negative Effekte bei Verwendung nicht entzerrter Bilder und ihre Korrektur nach Entzerrung zeigen die Abbildungen xx und yy. Zu Beachten ist das Übereinstimmen der Dachkanten im Giebelbereich bei gleichzeitig unterschiedlicher Lage des Giebelfensters.

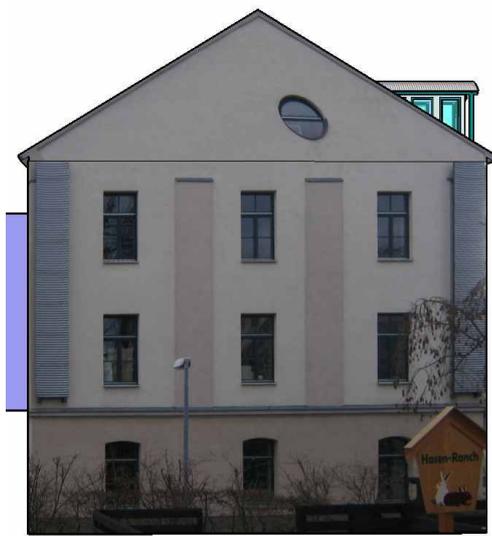


Abbildung 36 Giebeltextur ohne Entzerrung

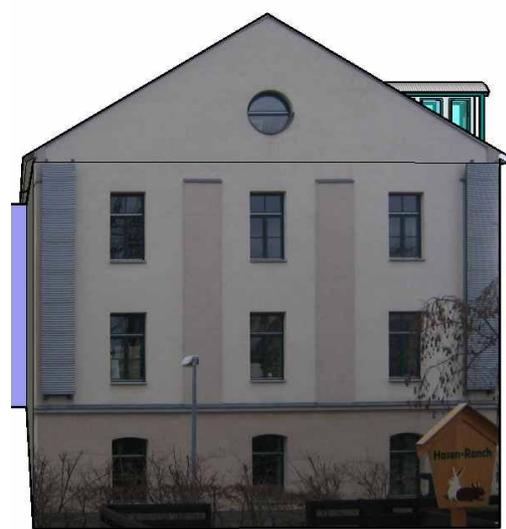


Abbildung 37 korrekt texturierter Giebel

Nicht alle Modellierungstools verfügen über integrierte Entzerrungstools, sind aber in der Lage Texturen automatisiert Flächen zuzuordnen. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die zum Zwecke der Texturierung vorgesehenen Digitalphotos zu entzerren und in einer Texturbibliothek abzulegen. Häufig existieren in Softwareprodukten solche Bibliotheken, die um eigene Texturen ergänzt werden können. Empfohlen wird die Speicherung der Texturen in einer Datenbank, um sie später mit Geobjekten verknüpfen zu können. Im Übrigen ist die separate Speicherung von Texturen auch für den Fall sinnvoll, das texturierte Multipatch-Daten aus ArcScene exportiert werden sollen, da diese Texturen systembedingt nicht mitexportiert werden.

Für die projektive Entzerrung kann auf professionelle Software zurückgegriffen werden, allerdings steht mit der Freeware GIMP ein empfehlenswertes Werkzeug zur Verfügung, das in Version 2.2 zur Entzerrung der Digitalphotos zum Einsatz kam. Im Entzerrungstool kann die Entzerrungsebene in Form eines Liniengitters über das Bild

gelegt werden. Erkennbare senkrechte und waagerechte Linien im Originalbild z.B. an Fenstern bieten dabei eine gute Orientierung. Anschließend wird das Bild transformiert und nach Wunsch beschnitten.

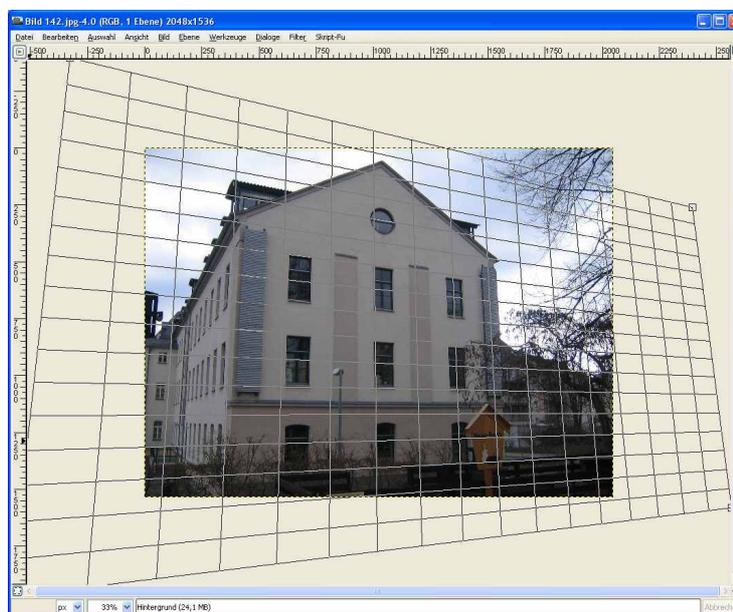


Abbildung 38 Entzerrungstool in GIMP2

Erzeugt wurden Orthogonalprojektionen gesamter Fassaden und Mustertexturen verschiedener Bodentexturen, wie Pflaster, Plauener Klinkerpflaster, Straßenbahnschienen, etc. Aus Ausschnitte entzerrter Fassadenphotos können im weiteren Arbeitsablauf sowohl Mustertexturen, wie projektive Texturen für einzelne Etagen. Diese können später für die Dekoration von smart buildings verwendet werden.

Die Erfassung der Fassadenphotos kann kontinuierlich beispielsweise im Zusammenhang örtlicher Vermessungsarbeiten oder anderer Außendienstarbeiten erfolgen. In Gebieten mit starker Vegetation wird die laubfreie Jahreszeit empfohlen. Die Aufnahmen im Planungsgebiet entstanden zum Großteil Anfang März 2007.

4.6 Planungsdaten

Für das Planungsgebiet wurde von einem externen Planungsbüro ein Gestaltungsvorschlag erstellt. Die dreidimensionale Visualisierung dieser Planung ist

eine Zielvorgabe dieser Master Thesis. Die Daten wurden vom Planungsbüro in Form von Plänen und in digitaler Form auf CD-ROM in den Formaten DWG, DXF und PDF zur Verfügung gestellt.

DXF steht für *Drawing Interchange Format*. Ursprünglich etabliert um CAD- Daten zu komprimieren, gilt DXF als Quasistandard zum Austausch von Daten zwischen CAD-Systemen untereinander und zwischen CAD- und GI- Systemen. Bei diesem Austausch tritt das Fehlen echter Interoperabilität in eklatanter Form zu Tage. Zwar besitzen die meisten Softwareprodukte der GIS- und CAD-Welt DXF-Schnittstellen, allerdings funktioniert der Datenaustausch in den meisten Fällen nicht reibungslos. Meist lassen sich Profile erstellen, mit denen der Datentransfer beeinflusst werden kann, um zumindest bei weiterem Datenaustauschbedarf, Informationsverluste und Zuordnungswidersprüche zu vermeiden.

Das Einlesen der Planungsdaten in einen ArcMap- bzw. ArcScene-Auftrag ist zunächst ohne Weiters durch einfaches Hinzufügen möglich. Mittels eines Werkzeuges (Conversion Tools – Import from CAD) können die Daten auch in einen PGDB überführt werden. Allerdings erscheint die standardmäßige Zuordnung zu Punkt-Linien- und Flächen-Features recht willkürlich. Zum einfachen visualisieren ohne weitere Symbolisierung der Daten ist diese Verfahren sicher hilfreich, der Informationsgewinn geht aber nicht weit über die Betrachtung geplotteter Pläne hinaus. Einzig die Kombination der DXF-Daten mit weiteren Themen in ArcMap oder ArcScene stellt einen gewissen Vorteil dar.

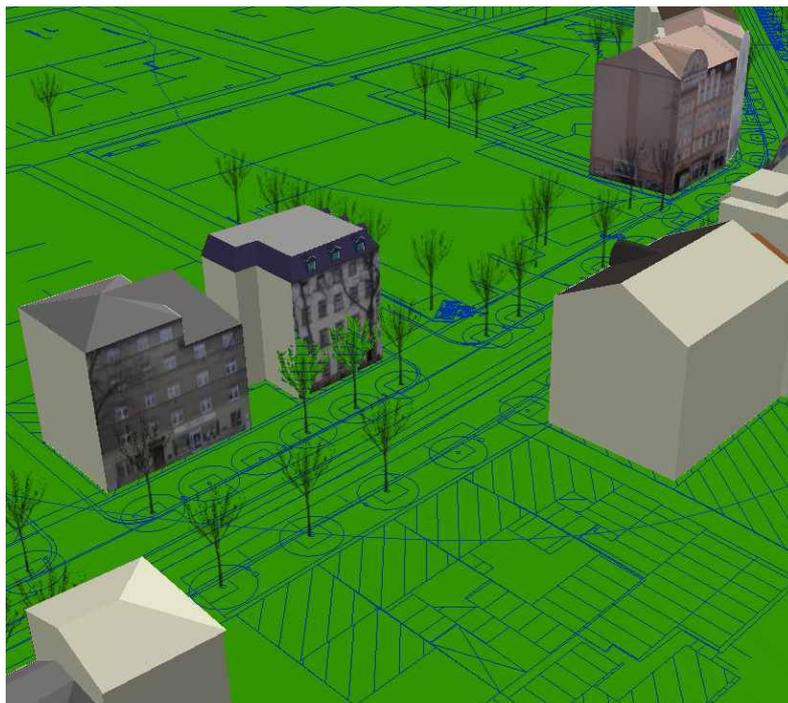


Abbildung 39 DXF-Layer

Zur Verbesserung der Möglichkeiten bei der Weiterverarbeitung wurde die Software CAD2Shape verwendet, mit der gezielt CAD-Daten in Shapefiles übertragen werden können. Beispielsweise lassen sich einzelne Layer, die im CAD-Auftrag Flächenschraffuren enthalten, die Polygone erzeugen. Auch die Erzeugung geschlossener Polygone aus Linien ist möglich. Dabei werden Lücken in den Daten automatisch korrigiert. Das Ergebnis ist allerdings nicht vollkommen widerspruchsfrei und muss einer weiteren augenscheinlichen Prüfung unterzogen werden. Verschiedene Fehlinterpretationen und Artefakte müssen anschließend manuell im ArcView-Auftrag nachgebessert werden. In diesem überschaubaren Planungsgebiet und im Anbetracht der nur beispielhaften Darstellung künftiger Arbeitsabläufe war der Korrekturaufwand mit ca. drei Stunden noch vertretbar. Bei größeren Gebieten und höheren Genauigkeitsanforderungen muss dieser wenig effiziente Arbeitsschritt mit hohem Aufwand kalkuliert werden. Bei vollständig umgesetzter Interoperabilität könnte das Verfahren des Datenaustausches entfallen.

Nachdem die eine für die Visualisierung als wichtig erachtete Auswahl der Planungsdaten in Form von 2D-Shapedateien vorlag, konnten sie mit den zur Verfügung stehenden Werkzeugen in ArcScene visualisiert werden.

4.7 Gebäudemodellierung mit CAD

Für den grundhaften Ausbau eines Straßenzuges scheint die Visualisierung von Gebäuden zunächst sekundär. Allerdings ergibt sich ein realer Eindruck des Plaungsgebietes nur mit Gebäuden und im Zusammenhang mit dem zugrunde liegenden Geländemodell. Beim Thema virtuelle Stadtmodelle nehmen Gebäude den breitesten Raum ein. Die verschiedenen Möglichkeiten ihrer Modellierung und die dazu nötigen Arbeitsschritte sollen deshalb in diesem Abschnitt näher erläutert werden.

Für die Erstellung eines Gebäudebestandes entsprechend Level of Detail 1 (LOD1) ist mit ArcGIS möglich.

Das Werkzeug für die Verwaltung dreidimensionaler Daten in ArcGIS ist die Extension 3D-Analyst, die neben den Programmteilen ArcScene und ArcGlobe insgesamt 45 Werkzeuge zum Bearbeiten von 3D-Daten bereithält. Die Erstellung und Editierung eines Digitalen Geländemodells in Form von TIN ist auch hier möglich, in ArcMap erzeugte TIN können ebenfalls verwendet werden. Mit ArcScene ist eine dreidimensionale Betrachtung der Geländemodelle und der darauf befindlichen Features möglich. 3D-Daten können aus 2D-Daten erzeugt werden. Dazu können die Features auf ein erzeugtes TIN gelegt werden. Dies ist sowohl temporär zum Zweck der Betrachtung möglich, als auch dauerhaft in Form einer Umwandlung von 2D in 3D-Features. Die Realisierung der dritten Dimension und ihrer Ausprägung erfolgt über die Zuweisung der Werte für Basishöhe (*base height*), eine Additionskonstante (*Offset*) und für die Extrusion* (*extrusion*). Bei der Extrusion handelt es sich um die Objekthöhe bzw. Mächtigkeit über der Basishöhe. Die Basishöhe kann wie bereits erwähnt vom TIN übernommen werden, oder aus Parametern übernommen werden, die in der Attributtabelle der entsprechenden Featureklasse gespeichert sind. Weiters können absolute Höhen eingegeben werden oder über die Kalkulatorfunktion errechnet werden. Der Wert für *Offset* bezeichnet eine Additionskonstante zur Basishöhe. Sie kann sowohl positiv wie negativ sein. Die Extrusion findet Verwendung zur Darstellung verschiedener Gebäudehöhen.

* Der Begriff Extrusion lässt sich nicht treffend übersetzen. „Extruder:...Maschine zur Herstellung von Formstücken ...aus thermoplastischem Material, das im formbaren Zustand durch Düsen gepresst wird.“(DUDEN 2005). Zur Assoziation kann die Zahnpasta, die beim Druck auf die Tube erscheint, als Extrusion bezeichnet werden. In Ermangelung eines besseren Begriffs wird Extrusion beibehalten

Mit den beschriebenen Parametern können Gebäudegrundrisse aus der ALK auf dem TIN platziert werden. Im einfachsten Fall wird der Wert für die Gebäudehöhe aus der jeweiligen Anzahl der Geschosse multipliziert mit 4m als Extrusion berechnet. Dieses Verfahren wurde für die Gebäude der Umgebungsbebauung gewählt (In Abbildung 40 rot). Für Gebäude, bei denen keine Werte für die Geschößanzahl zur Verfügung standen, wurden realistische Höhen geschätzt (beige). Für gemessene Gebäudehöhen wurden die Werte der Attributtabelle hinzugefügt und dann ebenfalls zur Extrusion verwendet (blau). Ergebnis ist eine Teilmenge des Gebäudebestandes, die dem *Level of Detail* 1 (LOD1) entspricht.

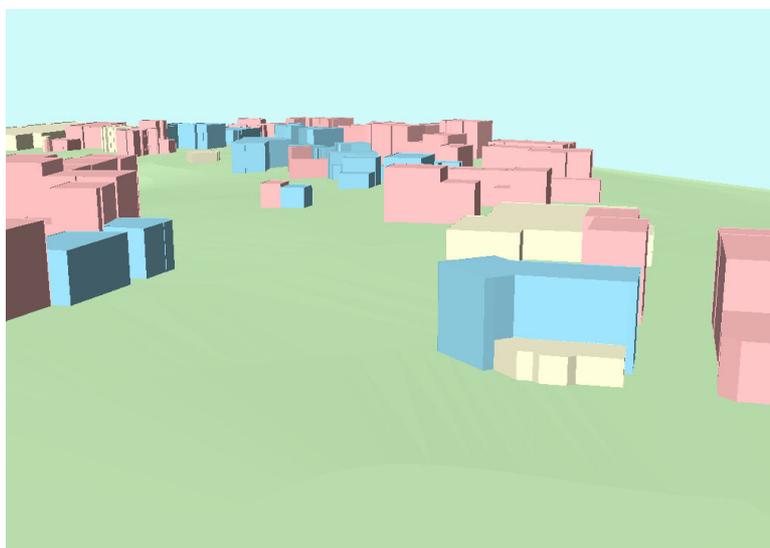


Abbildung 40 LOD1 extrudierte Gebäude in ArcScene

Gebäudemodellen mit LOD2 sind charakterisiert durch die Kombination von „Klötzchenmodell“ und Standarddachformen. Zunächst müssen Standarddachformen festgelegt werden. Hierzu eignen sich grundsätzlich die 15 (incl. Sonstige Dachform) im ALKIS-Objektartenkatalog festgelegte Standarddächer. wurde verzichtet. Die Erstellung von Dachformen in ArcGIS ist möglich, allerdings etwas aufwändig. Die Möglichkeit Körper in ArcGIS darzustellen, bietet nur das Multipatchformat, welches mit den verfügbaren Editierwerkzeugen allerdings nicht erzeugt werden kann (siehe nächstes Kapitel). Dächer müssen daher in einzelne, ebene, im Raum liegende Facetten zerlegt werden.

Zunächst wird ein 3D-Polygon-Shapefile (PolygonZ) in ArcKatalog angelegt. Anschließend muss jede Dachfassette einzeln in ArcMap mittels Editierwerkzeugen erfasst werden. Dabei müssen für jeden Punkt der Fläche die Z-Werte manuell

eingegeben werde. Zu beachten ist, dass senkrechte Flächen nicht erzeugt werden können (2,5D!), und Nadirpunkte in X- oder Y-Koordinate um mindestens einen Millimeter verändert werden müssen. Damit geht die semantische Information „Dach“ verloren. Einzige Möglichkeit einzelne Dächer zu detektieren, ist nur über den Umweg, jedes Dach mit seinen zugehörigen Facetten in je einem Layer abzulegen. Für vier Gebäude des Planungsgebietes wurden beispielhaft derartige Dachflächen erzeugt.

Die Möglichkeit Körper in ArcGIS darzustellen ist, bietet das Datenformat Multipatch. So können räumliche Symbole dieses Formates in ArcScene-Aufträgen eingebunden werden. 3D-Gebäude können mit Punktfeatures können mit 3D-Geäuden symbolisiert werden, die anschließend durch Skalierung, Rotationen und Translationen positioniert werden können. Die mitgelieferten Symbole repräsentieren zum einen typische amerikanische Baustile von Holzhäusern bis hin zu „Wolkenkratzern“ (*skyscraper*), zum anderen ist das Positionieren aufwändig. Die Symbole können jedoch auch extern erzeugte CAD-Dateien sein, die in die Symbolbibliothek importiert werden. Datenformate können 3d Studio, OpenFlight, SketchUp oder VRML sein. Für die im Folgendem beschriebene Arbeitsweise wurde die Software SketchUp verwendet.

SketchUp ist eine Entwicklung der Firma „@Last Software“, die inzwischen von „Google Inc.“ Übernommen wurde. Sketchup liegt in einer kostenfreien Version und in einer Professional Edition vor, die beide per download erhältlich sind. Die Bedienoberfläche ist spielerisch gestaltet und kann intuitiv, verschiedene Hilfsfunktionen oder durch ebenfalls downloadbare Videoanleitungen sehr schnell erlernt werden. Die Pro-Version unterscheidet sich hauptsächlich durch die Möglichkeit DGM-Daten einbinden zu können (*Sandbox*). Für diese Master Thesis wurden von „Google Deutschland“ kostenfreie Evaluationslizenzen für die Version 5 und 6 jeweils in der Professional Edition zur Verfügung gestellt. Für die Software existieren mehrere Supportseiten im Internet, auf denen nützliche Zusatz-Tools bereit stehen. Plug Ins existieren für Google Earth, Microstation, ArchiCAD und viele weitere Software, von denen die ESRI-PlugIns und jenes für die Erstellung von 3D-PDF herunter geladen wurden. Die nachfolgend beschriebenen Arbeitsschritte wurden mit der SketchUp Version 5 durchgeführt, da zum einen die Version 6 erst nach Beginn der Arbeiten veröffentlicht wurde und zum anderen die PlugIns gegenwärtig nur für diese Version zur Verfügung stehen. Nach Installation der ESRI-PlugIns arbeitet SketchUp mit ArcMap und ArcScene zusammen. In der Werkzeugeiste von ArcGIS existiert nun ein

Button, der SketchUp startet und ausgewählte Features wahlweise mit oder ohne TIN exportiert.



Abbildung 41 Werkzeugleiste mit ScetchUp PlugIn

Reibungslos verläuft der Datenaustausch zwischen den beiden Programmen jedoch nicht. Abbildung 42 zeigt geometrisch veränderte Daten bei Flächenfeatures. In Abbildung 43 wurde derselbe selektierte Datenbestand zunächst als Shapefile aus ArcMap exportiert und danach als solche in SketchUp eingelesen und zeigt nun ein korrektes Bild. Offensichtlich ignoriert das PlugIn Bögen in der Geometrie. Für den Transfer der Gebäudeobjekte war dies jedoch kein Problem, da die exportierten Gebäude nur geradlinig begrenzte Grundrisse aufwiesen.

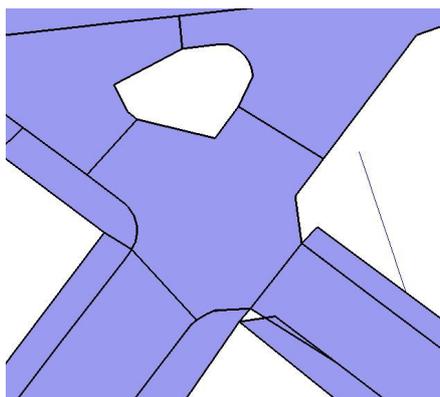


Abbildung 42 Artefakte

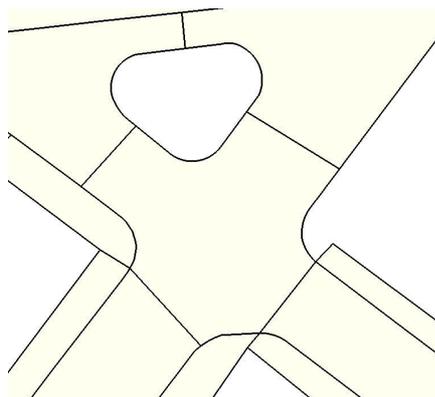


Abbildung 43 korrekte Interpretation

Der Gebäudebestand kann insgesamt gemeinsam mit dem TIN exportiert werden, was die folgenden Arbeitsschritte jedoch bei der dreidimensionalen Navigation erschwert. Aus diesem Grund ist das Bearbeiten von Einzelgebäuden oder kleineren Gebieten empfehlenswert. Der gleichzeitige Export des TIN dient zur höhenmäßigen Festlegung des endgültigen Multipatches auf der Geländeoberfläche. Nachdem die TIN und Grundriss in SketchUp zur Verfügung stehen, sind die zu bearbeitenden Elemente nur über die kubischen Boundingboxen selektierbar und müssen in ihre Einzelteile aufgelöst werden. Danach können die Grundrisse mit der Funktion „Footprint“ mit dem TIN verbunden werden. Dazu können sie axial in Z-Richtung verschoben. Der Verschieberegion ist dabei allerdings an den vertikalen Abstand von Objekt zu TIN

definiert und ändert sich beim gleichzeitigen Zoom nicht (!). Aus diesem Grund sollten die Flächen, von denen ein „Fußabdruck“ erzeugt werden soll einen geringeren Abstand vom TIN haben sollten, als in Abbildung 44 dargestellt. Dieser Abstand kann vorher in der Attributtabelle in ArcScene oder ArcMap festgelegt werden und beim Export mit dem PlugIn zugewiesen werden.

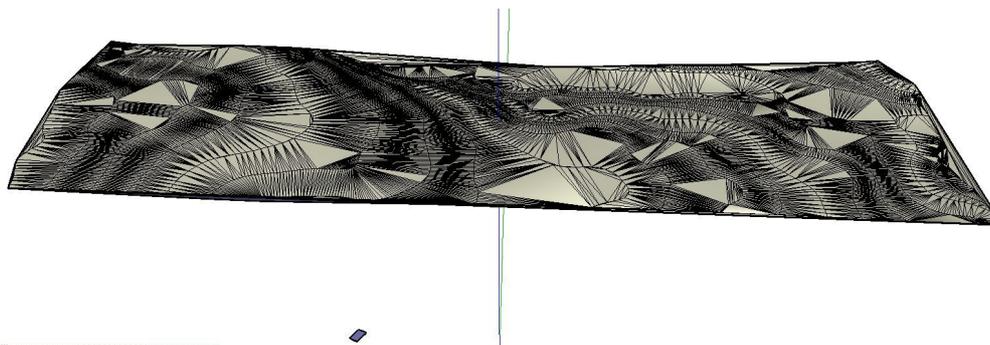


Abbildung 44 Geländemodell und Grundriss auf "Höhe Null"

Diese Vorgehensweise erleichtert das Absenken des Grundrisses auf die TIN-Oberfläche (Abbildung 45). Das Absenken des Grundrisses erfolgt zunächst nach Augenmaß. Eine Funktion „bis höchsten/tiefstem“ Punkt, ähnlich der Option des minimalen oder maximalen Z-Wert als Bezugspunkt beim Extrudieren in ArcScene ist nicht vorhanden, deshalb muss der Abstand, der auf dem TIN entstandene Terrassenfläche gegen die Höhe des Gebäudesockels geprüft und bei eventuell angepasst werden. Anschließend kann das TIN entfernt werden und der nun entstandene Sockel gespeichert werden. Die Sockel passen im Ergebnis nahtlos auf das Ausgangsgeländemodell (Abbildungen 47 und 49). Dies verhindert das unerwünschte, aber häufig bei 3D-Stadtmodellen zu beobachtende Einsinken oder Schweben der Gebäude. Für die meisten Gebäude wurde die Böschungähnliche Gestalt des Sockels verwendet. Das entspricht in der Regel nicht der Realität, ist bei kleinen Sockeln aber vertretbar. Bei großen Höhendifferenzen und/oder größeren Gebäudekomplexen kann völlig unrealistisches Bild entstehen. Derartige Sockel können weiter bearbeitet und lotrecht begradigt werden, was für den Sockel des Gebäudes (Sparkasse) beispielhaft realisiert wurde.

Eine andere Möglichkeit der Sockelerstellung kann durch Extrudieren der Gebäudegrundrisse durch die TIN-Oberfläche und anschließendes Verschneiden erreicht werden. Damit entsteht eine Geländeschnittlinie, wie sie auch in der CityGML-Spezifikation als „Terrain Intersection Curve“ (Gröger et al. 2007) beschrieben wird.

Der Sockel kann dann wahlweise unterhalb dieser Schnittlinie entfernt werden oder als unterirdisches Gebäudeteil weiterverwendet werden. Diese Möglichkeit bietet zum einen den Vorteil lotrechter Sockel und zum anderen die Begrenzung des Sockels auf den jeweils höchsten Geländepunkt der Schnittlinie. Für die künftige Sockelerstellung wird die zweite beschriebene Variante empfohlen.

Die Erstellung von Sockeln entspricht der Gebäudegestalt in der Realität. Außerdem bieten die Sockel einen Vorteil bei der Veränderung des zugrunde liegenden Geländemodells. Stehen verfeinerte DGM-Daten, beispielsweise aus Laserscan-Daten zur Verfügung, ist mit einer solchen Veränderung zu rechnen. In diesem Fall ist nur die Anpassung der Sockel nötig und erspart das aufwändigere Editieren der Gebäude. Bei Verwendung lotrechter Sockel werden diese gleichzeitig extrudiert und mit der neuen Geländeoberfläche verschnitten. (Abbildungen 46, 48 und 50)

Nach der Erstellung der Sockel wurden diese zur Weiterverarbeitung als einzelne SketchUP-Aufträge, 3DS-Dateien und als Multipatches gespeichert. Die Speicherung im KMZ/KML-Format ist ebenso möglich, womit die Objekte für die Betrachtung in Google Earth bereit sind.

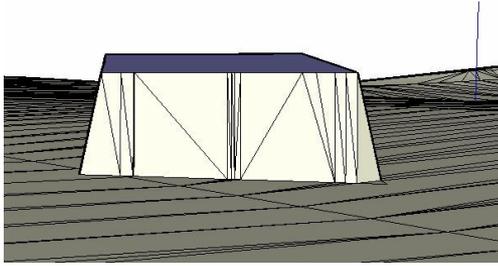


Abbildung 45 "Fußabdruck"-Tool

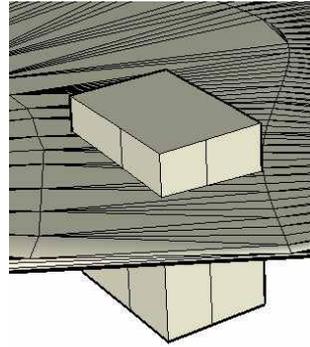


Abbildung 46 Durchdringung

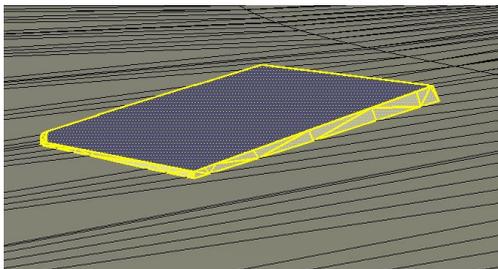


Abbildung 47 erzeugter Sockel

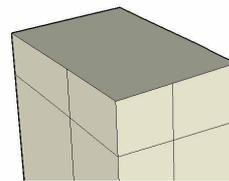


Abbildung 48 Schnittlinie kann als TIC interpretiert werden

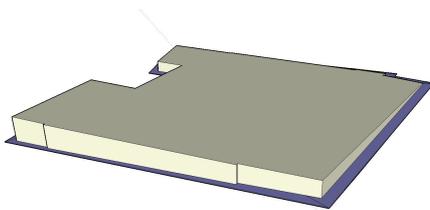


Abbildung 49 Sockel nach Bearbeitung

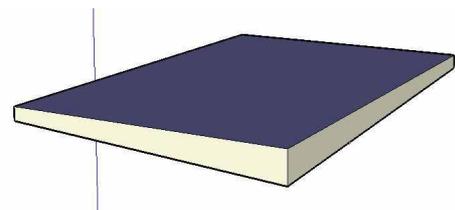


Abbildung 50 realer Sockel

Mit den fertig gestellten Sockeln kann sofort weiter gearbeitet werden. Dazu werden alle vertikalen Flächen entfernt, die resultierende Sockelebene bildet nun als Grundfläche die Basis für die Gebäudekonstruktion. Der Grundriss entstammt den

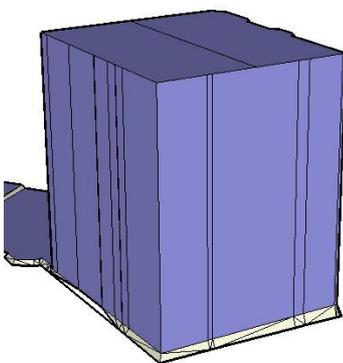


Abbildung 51 unerwünschte Kanten

ALK-Daten bei deren Aufnahme aufsteigendes Mauerwerk zu messen ist. Aus diesem Grund existieren häufig mehrere Punkte innerhalb von Wänden. Beim extrudieren werden aus diesen Punkten unerwünschte Kanten (Abbildung 51), die später Probleme beim Aufbringen der Textur erzeugen, da jede Fläche separat texturiert werden müsste. Die Genauigkeit der 3D-Modelle muss explizit festgelegt werden und kann im Dezimeterbereich angenommen werden. Sie muss nicht

der Aufnahmegenaugigkeit entsprechen, so dass der Grundriss zugunsten signifikanter Wände optimiert werden kann. Dieses Verfahren findet auch bei teilautomatisierten Verfahren zur Gebäuderekonstruktion Anwendung (siehe Kap4.11). Die optimierte Grundfläche wird entsprechend der gemessenen Traufe extrudiert. Damit ist das Gebäude in LOD1 fertiggestellt und kann abgespeichert werden. Die weitere Bearbeitung richtet sich nach den Zielvorgaben. Möglich ist die Konstruktion von Standardformen für Dächer mit approximierter Höhe entsprechend der erfassten Daten. Liegen Orthophotos der Gebäude vor, können diese hilfreich bei der Konstruktion der Dachformen sein. Unterstützend wurden die online verfügbaren Luftbilder des Landesvermessungsamtes Sachsen verwendet <http://www.landesvermessung.sachsen.de/ias/basiskarte/java/dispatch> (29.8.2007). Die Werkzeuge, die SketchUp für derartige Konstruktionen zur Verfügung stellt erlauben geübten Operateuren ein effizientes Arbeiten. Durch Einzeichnen einer Firstlinie, verbinden mit der Dachgrundfläche und anschließendes Anheben der Firstlinie erzeugt fertige Dachflächen. Die Kombination der Dachkonstruktion mit den LOD1- Gebäuden ergibt LOD2-Gebäude. Es empfiehlt sich, die Dachkonstruktionen einzeln abzuspeichern.

Für die beispielhafte Darstellung der Gebäude des Planungsgebietes wurden verschieden detaillierte Dachkonstruktionen erstellt, teilweise mit Gaubenkonstruktionen, die bereits LOD4 entsprechen, wie ein virtuelle Blick aus der



Abbildung 52 Blick aus Modell



Abbildung 53 Blick aus Fenster

Dachgaube der Stadtbibliothek auf die Alte Feuerwache im Vergleich mit einer realen Aufnahme zeigt (Abbildungen 52 und 53).

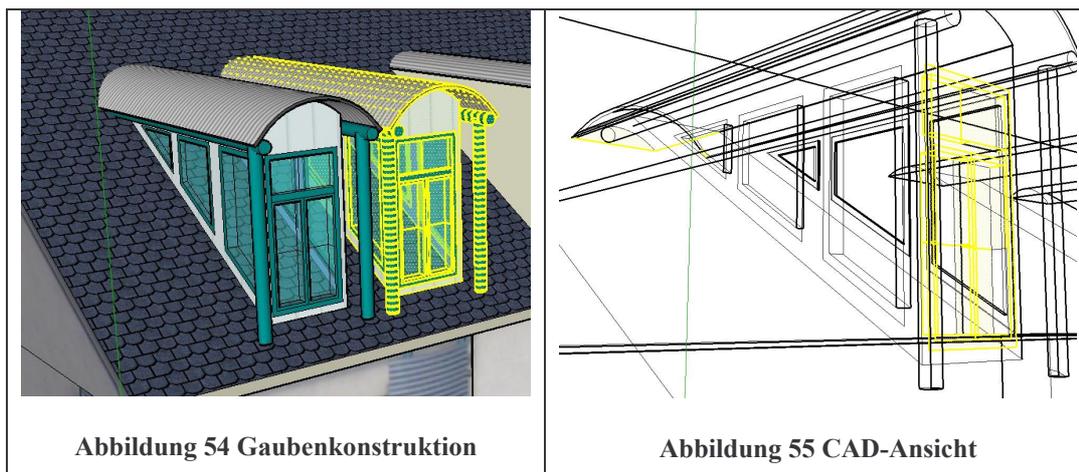
Der Fokus bei der Konstruktionen der Gebäudedächer lag auf einem realitätsnahen Eindruck der Umgebungsbebauung bei der späteren Visualisierung der existierenden

und geplanten Situation des Straßenraumes. Damit war das primäre Kriterium der Konstruktion die Wiedererkennbarkeit der Gebäude, maßgerechte Dachformen hingegen sekundär.

Für die Darstellung von Gebäuden in LOD 2 und LOD3 können diese mit Fassaden- und Dachtexuren belegt werden. Auch für diese Aufgabe stellt SketchUp einfache zu handhabende Funktionen bereit. Für die Gestaltung von häufig wiederkehrenden Oberflächen wie Dächer, Ziegelwände, Fliesen, Holzverkleidungen, metallische Oberflächen, Farben aber auch für transparente Flächen stehen in einer Materialbibliothek vielfältige Texturmuster zur Verfügung. Projektive Texturen für komplette Fassaden können importiert werden. In einem ersten Schritt werden markante Punkte, zum Beispiel Gebäudeecken definiert. Dazu werden Markiersymbole in Reißzweckenform (Pins) genutzt. Anschließend werden diese auf die entsprechenden Punkte in der Konstruktion verschoben. Der Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden, bis das gewünschte Ergebnis erreicht ist. Müssen sehr viele Texturen an einem Gebäude angebracht werden, kommt es besonders bei der Berechnung von Multipatches zu Fehlern. Im Ergebnis fehlen Texturen oder werden verzerrt auf den Flächen dargestellt. Auch dies ist ein Grund, der für die Erstellung von projektiven Texturen vor der Verarbeitung spricht. Nach der externen Entzerrung kann das digitale Bild auch hinsichtlich der Speichergröße optimiert werden.

Zur Konstruktion von Gebäudeteilen wie Balkone, Erker und Gauben im Detaillierungsgrad LOD3 können die aufgebrauchten Texturen eine gute Hilfestellung sein. Sollen Fenster als realistische transparente Glasfläche dargestellt werden, können diese direkt im Fassadenphoto eingezeichnet, ausgeschnitten und mit Glastextur belegt werden.

Die Konstruktion von LOD4-Gebäuden ist problemlos realisierbar. Mit den zur Verfügung stehenden Werkzeugen sind Parallelverschiebung zum Erzeugen von Wänden aus Begrenzungslinien, Komponentenerstellung zum Kopieren ganzer Aggregate, Extraktion von Querschnittsflächen entlang beliebiger Linien zur Erzeugung von axialsymmetrischen Gebilden wie Turmdächern und vieles mehr möglich. (Abbildung 54 und Abbildung 55)



Für die Konstruktion derartig detaillierter LOD4-Gebäude lagen keine Informationen vor, so dass Konstruktionen dieses Detailierungsgrades nur ansatzweise bei einigen Gauben und bei einem Kleingebäude in Form eines geplanten Kiosks erfolgten. Die Planung dieses Kiosks stellt ein fiktives Szenario dar. Bei der Bestandsaufnahme wurde festgestellt, dass das im Plan existierende Kleingebäude an dieser Stelle nicht mehr existierte. Deshalb wurden unter Annahme einer geplanten Neubebauung einige Entwürfe realisiert, die keinen Anspruch auf besondere Ästhetik oder statische Genauigkeit besitzen. Sie sollen nur unterscheidbar sein und für die anschließende Visualisierung innerhalb eines realen Planungsprozesses zur Verfügung stehen.

Für die Gebäudeerstellung im Sinne von „smart buildings“ (siehe Kapitel 2.6.1), wobei ein Gebäude aus seinen einzelnen Etagen zusammengesetzt wird, ist der Einsatz von SketchUp für die Geometrieerstellung gut denkbar. Die getrennte Erfassung von Sockeln, Gebäudekörpern und Dächern wird empfohlen um bei Veränderung nicht im Gesamtobjekt editieren zu müssen. Die Erzeugung von IFC-Daten aus SketchUp ist, zumindest in der genutzten Version 5 nicht möglich.

Nach Fertigstellung der Gebäude wurden diese jeweils in den Formaten SketchUp, Multipatch, 3DS und 3D-PDF gespeichert, um sie später in verschiedenen Viewern oder anderen Programmen zur Weiterbearbeitung einlesen zu können.

Ein grundsätzliches Problem bei LOD4 ist die Innennavigation. Die Softwarelösungen für die 3D-Navigation sind bei vielen 3D-Betrachtern als verbesserungswürdig zu bezeichnen und verlangen in jedem Falle Übung. Die Orientierung im Raum verlangt räumliches Vorstellungsvermögen vom Betrachter. Softwareseitig muss die Raumwahrnehmung jedoch auf einem zweidimensionalen Bildschirm umgesetzt

werden. Der virtuelle Betrachter muss also geschickt in die 3D-Darstellung integriert werden, um beispielsweise Drehungen oder Rundumblicke zu erzeugen. Die gewohnten Werkzeuge wie *zoom* zum vergrößern, *pan* zum verschieben oder *full extentet* zum Darstellen aller Elemente des Arbeitsbereiches müssen um eine Dimension erweitert werden. Bereits im 2D-Bereich können die Umsetzung dieser Werkzeuge bei verschiedenen Softwarelösungen als verbesserungswürdig bezeichnet werden, selbst wenn die Bewertung subjektiven Kriterien unterworfen ist.

In SketchUp wird die Navigation in den meisten Fällen über die linke Maustaste und das Mousrad gesteuert. Im Innenbereich bleibt die Navigation aber auch hier schwierig, wobei zu vermuten ist, dass sich dieses Problem durch Übung verbessert.

Kritisch betrachtet werden müssen einige Effekte, wie verzerrte Texturen, Verlust von Teilflächen oder Veränderungen der Geometrie, die bei der Speicherung in andere Formate auftreten. So Im Übrigen sind diese Verluste ein gutes Beispiel für die Probleme, die bei Formatumwandlungen häufig auftreten. Zusammenfassend kann SketchUp als einfaches CAD-Werkzeug gesehen werden, dessen Funktionen dem Prinzip „Look & Feel“ entsprechen, intuitiv erlernbar sind und teilweise verblüffend einfache Lösungen für eigentlich schwierige Probleme bietet.

Der Aufwand für die Konstruktion von 3D-Objekten ist verglichen mit anderen CAD-Werkzeugen bedeutend niedriger und für die Geometrieerstellung von Gebäuden bis LOD4 völlig ausreichend. Für viele Zwecke ist die kostenlose Version ausreichend, sollen Geländeoberflächen verwendet werden, muss die Professional Edition eingesetzt werden. SketchUp Professional kostet in Version 5 oder 6 495 \$ (Stand 20.8.2007).

Insgesamt wurden 19 Einzelgebäude und zwei Gebäudekomplexe erstellt.



Abbildung 56 Modell



Abbildung 57 Original

4.8 Visualisierung in Projektphase 1

Die ArcGIS-Extension 3D Analyst stellt umfangreiche Werkzeuge zur dreidimensionalen Verwaltung, Erzeugung und Analyse von Raster und Vektordatenbeständen zur Verfügung. Die Tools für die Visualisierung sind ArcGlobe, für globale Darstellungsformen und ArcScene für dreidimensionale Darstellung regionaler Projekte. Die Einsatzmöglichkeiten von ArcScene bei der Visualisierung des Planungsgebietes werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert. Ohne auf die weiteren Funktionen im Detail einzugehen, seien an dieser Stelle die wichtigsten Funktionen des 3D Analyst genannt:

- Erzeugung von Vektor- oder Rasteroberflächen
- Erzeugung und Analyse thematischer Rasteroberflächen unter Nutzung verschiedener analytischer Methoden (Krigging, Inverse Distance Weighting, Interpolation, u.a.)
- Analyse- und Visualisierungsmethoden (Sichtbarkeitsanalyse, Hangneigung, Exposition, Höhenlinien, Höheschichten, u.a.)

Mit diesen Werkzeugen können Vektor- und Rasterdaten detaillierten Betrachtungen unterzogen werden. Durch Rastermanipulationen und Kombinationen verschiedener Verfahren lassen sich Hochwassersimulationen, Abflussmodelle, und kürzeste Wege berechnen. Durch Reklassifizierung der Rasterdaten lassen sich diese Auswertemethoden für verschiedenste Simulationen berechnen. Beispielsweise können Planungsvarianten einer Kostenanalyse unterzogen werden, wobei für Kosten unterschiedliche Werte zum Ansatz gebracht werden können (monetäre Kosten, Umweltverträglichkeitsfaktoren, Widerstandspotentiale, usw.). Dabei können die Analysen wie in ArcMap mit dem Model Builder erstellt und verwaltet werden.

Die Möglichkeit der Visualisierung eines kleinen Gebietes bis beispielsweise Stadtgröße auf einer Globusoberfläche mit dem Werkzeug ArcGlobe erscheint zunächst wenig sinnvoll. ArcGlobe bietet aber die Möglichkeit der Veröffentlichung der Projekte mittels ArcGIS Publisher und anschließender Betrachtung im kostenfreien Programm ArcReader. Diese Lösung könnte für Nutzer installiert werden, die über keinen Zugang zu ArcScene verfügen.

In Phase 1 des Projektes *Plauen*³ erfolgt die Visualisierung mit ArcScene. Die Daten wurden in Personal Geodatabases entsprechend ihrer Ausprägung abgelegt. Zweidimensionale Daten können in ArcGIS bei Vorliegen in dreidimensionale Daten überführt werden. Der Höhenbezug wird dabei über ein TIN hergestellt. Die Geometrie der 3D-Daten wird allerdings verändert. Bei Flächenfeatures entstehen Dreiecksflächen innerhalb der Originalfläche und dementsprechend zusätzliche Linienpunkte auf den Flächenbegrenzungslinien (*Verticees*). Nach der Umwandlung werden die Z-Werte in der 3D-Shapedatei gespeichert. In ArcCatalog sind 3D-Features durch die Endung Z bzw. ZM zu erkennen, wobei M optional ist und Verwendung für gemessene Werte findet.

Die zweidimensionalen Daten können aber auch ohne vorherige Umwandlung in 3D dargestellt werden und temporär innerhalb des ArcScene-Auftrages einer Basishöhe zugeordnet werden. Der Z-Wert kann, wo vorhanden aus den Attributdaten zugeordnet werden oder er kann den vertikalen Schnittpunkt mit der TIN-Fläche annehmen. Letzterer kann noch mit Hilfe einer Additionskonstante (*Offset*) in Z-Richtung nach oben oder unten verschoben werden. Ergebnis sind Features im dreidimensionalen Koordinatenraum.

Alle Features können extrudiert werden, wobei aus Punkten je nach Symbolisierung Linien oder Zylinder entstehen, Linien werden zu Rundprofilen in Linienrichtung, die beispielsweise als Rohrleitungen interpretiert werden können. Flächen werden ebenfalls vertikal extrudiert, beginnen auf der TIN-Fläche bilden je nach Gestalt der Flächen, Prismenkörper mit horizontal ebenem Abschluss. Als Bezugspunkt der Extrusion kann wahlweise der höchste oder niederste Punkt des betroffenen TIN-Ausschnittes gewählt werden. Nach dieser Methode kann eine Fläche nicht parallel zum TIN extrudiert werden, da sie im Normalfall oben horizontal begrenzt ist. Bei extrudierten Gebäuden im Sinne eines „Klötzchenmodells ist dieser Effekt erwünscht, bei der Darstellung von Bordsteinkanten, die sich dem Geländeverlauf anschmiegen sollen, für die normale Extrusion (Base Height = TIN, Extrusion = 0.15 m) zu einem unrealistischen Treppeneffekt. Hier kann man sich mit einem Trick behelfen. Die Extrusion beginnt immer an der TIN-Oberfläche +/- Offset und endet horizontal. Man beginnt die Extrusion mit einem positiven Offset, der die Bordsteinhöhe repräsentiert und extrudiert dann je nach Geländeneigung ausreichend nach unten (Extrusion = -0,4). Der unerwünschte Treppeneffekt entsteht dann unterhalb der TIN-Oberfläche und

verschwindet damit in der Erde. Damit entspricht diese Visualisierung annähernd der Realität.

Andere gebäude, bäume, masten, Beleuchtung

Für die Navigation in ArcScene stehen zusätzliche Navigationswerkzeuge zur Verfügung. So ist die Wahl eines Standpunktes und die Blickrichtung definierbar, zoomen auf einen wählbaren Punkt ist möglich und mit einem Rotationstool ist ein quasi freies Bewegen im Raum möglich. Mittels eines Vogelsymbols kann virtuell durch den Raum geflogen werden, Dabei ist die Wahl der Geschwindigkeit in sechs Stufen sowohl vorwärts als auch rückwärts möglich. Alle Navigationen können in einem Navigationsfile gespeichert werden, das jederzeit abrufbar ist. Damit sind simulierte Flüge oder auch Wanderungen durch die Scene möglich, bei denen die Auswahl der dargestellten Features möglich ist. In dieser Art könnte beispielsweise ein und derselbe Spaziergang im Sommer mit belaubten Bäumen und im Winter mit eingeblendeten blattlosen Baumsymbolen simuliert werden. In den Navigationspfad können auch screenshots integriert werden, vergleichbar mit Photos während des Spazierganges. Außerdem können während der Navigation Layer ein- und ausgeblendet werden, was bei der Darstellung verschiedener Planungszustände nützlich ist. Zusätzlich können Beleuchtungseffekte variiert werden.

Die gespeicherten Navigationspfade können mit ArcScene-Tools in AVI oder MOV auch als Videosequenzen exportiert werden. Die Berechnungszeit dieser Videos bedarf allerdings enormer Rechenleistung. In Abhängigkeit von der Größe der Szene und der verwendeten Hardware wurden im Mittel ca. eine Minute Rechenzeit pro Sekunde Video benötigt.



Abbildung 58 Visualisierungen des geplanten Zustandes in Phase 1

4.9 Datenmodell

Die *City Geography Markup Language* wurde im Kapitel 5.5.1 bereits vorgestellt. Hier soll näher auf die CityGML-Struktur und ihr Potential hinsichtlich eines Datenmodells eingegangen werden. Mit CityGML liegt ein sofort nutzbares Datenformat vor.

4.9.1 Das CityGML-Datenmodell

CityGML ist in der Lage, zusätzliche semantische Informationen zu speichern und es existieren mit so genannten *Application Domain Extensions (ADE)* Anknüpfungspunkte für spezifische Erweiterungen.

Das Datenmodell ist im Dokument *Candidate OpenGIS[®] Implementation Specification* (Gröger et al. 2007) beschrieben. Im Anhang werden das XML-Schema und XML-Beispieldateien mitgeliefert. Diesem Dokumenten entstammen die Kerngedanken dieses Kapitels und wurden auszugsweise und sinngemäß übersetzt.

Im OGC-Dokument ist das Datenmodell in Form von UML-Diagrammen beschrieben und ausführlich dokumentiert. Zum besseren Verständnis des nachfolgenden Modellierungsbeispiels werden hier die betroffenen UML-Diagramme dargestellt und kurz beschrieben.

<<Geometry>> repräsentiert die Geometrie eines Objekts und ist ein identifizierbares und unterscheidbares Objekt, das vom abstrakten GML-Typ *AbstractGeometryType* abgeleitet ist.

<<Feature>> repräsentiert ein thematisches Feature entsprechend der Norm ISO 19109. Ein Feature ist ein identifizierbares und unterscheidbares Objekt, das vom abstrakten GML-Typ *AbstractFeatureType* abgeleitet ist.

<<Object>> repräsentiert ein identifizierbares und unterscheidbares Objekt, das vom abstrakten GML-Typ *AbstractGMLType* abgeleitet ist.

<<ExternalCodeList>> beziffern mögliche Attributwerte.

<<Union>> ist eine Liste von Attributen, von denen jeweils nur eines vorhanden sein darf.

<<PrimitiveType>>	findet Anwendung bei Repräsentation durch Primitive.
<<DataType>>	ist eine Umschreibung für nicht identifizierbare Werte. Sie können Primitive oder nutzerdefinierte Typen. DataType ist eine Klasse, deren Zweck es ist, mit wenigen oder keinen Operationen den abstrakten Status einer anderen Klasse für Übertragung, Ablage, Verschlüsselung oder dauerhafter Speicherung beizubehalten. I

Das räumliche Modell wird in drei UML-Diagrammen beschrieben.

Verbindung von Primitiven. Ihre Elemente müssen nicht zusammenhängend sein, sie dürfen sich überlappen oder berühren. Komplexe hingegen sind topologisch reglementiert. Sie müssen getrennt sein, dürfen nicht überlappen, höchstens berühren. Der Verbund ist auf die Verbindung in jeweils einer Dimension beschränkt, also nur Linien, Oberflächen oder Körper können jeweils verbunden werden (nicht beispielsweise Flächen und Linien). Im Beispiel sind keine der drei Angeführten Verbindungen vorhanden, ebenso wie implizite Geometrien. Beide UML-Diagramme vervollständigen allerdings das Geometriemodell und sind deshalb ergänzend dargestellt. und wird deshalb an dieser Stelle .

In CityGML sind Kurven stets Geraden, weshalb die GML3-Klasse *LineString* verwendet wird. *OrientableSurface* wird verwendet, um die Seiten der Oberflächen definieren zu können, zum Beispiel Wandinnen und Wandaußenseiten. *TriangulatedSurfaces* sind speziell für TINs genutzte Dreiecksverbünde, bei denen die Dreiecke explizit definiert sind. In der Unterklasse *TIN* werden im Gegensatz dazu die Dreiecke aus ihren Kontrollpunkten abgeleitet. Zusätzlich können Bruchkanten eingefügt sein. Damit eignet sich diese Unterklasse speziell für Geländemodelle.

Das Modell der Oberflächeneigenschaften (*appearance model*)

Das *appearance model* wurde in die CityGML-Version 0.4.0 neu aufgenommen und löst die bisherige Gestaltung von Oberflächen mittels texturierte Oberflächen (*TexturedSurface*) ab und ist damit auch ein Beispiel für die aktuelle und dynamische Entwicklung von CityGML. Mit dem Modell können Materialien oder Texturen flexibler als bisher aufgebracht werden. Sowohl die Anordnung von Texturmustern, als auch ihre Transformationsparameter können mit CityGML modelliert werden.

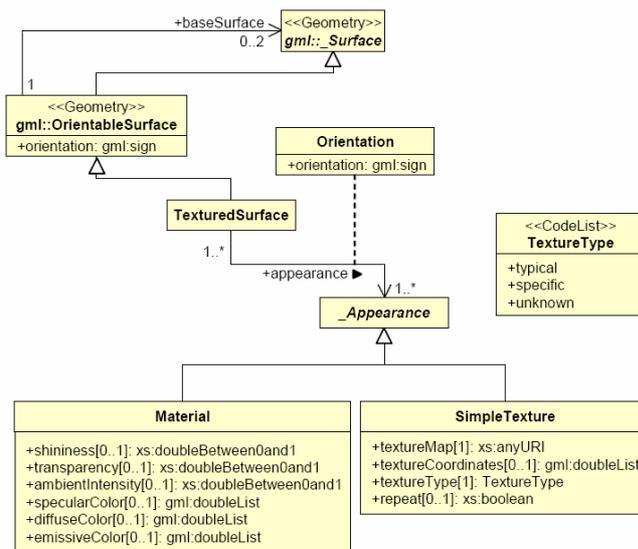


Abbildung 60 UML Diagramm Appearance

Im Beispiel werden noch texturierte Oberflächen angewendet, um das Prinzip der Darstellung von Texturen (*SimpleTextures*) und Materialien (*Materials*), wie Farbe, Glanz oder Transparenz auf verschiedenen Oberflächen zu erläutern. *TexturedSurfaces* bleiben mit dem neuen Modell kompatibel, sollten allerdings künftig zugunsten des *Appearance Models* abgelöst werden. Dieses Modell erlaubt noch flexiblere Zuweisungen von Oberflächeneigenschaften, beispielsweise zur Darstellung von verschiedenen Jahreszeiten desselben Objektes. Im Anhang zum OGC-Papier findet sich die CityGML Datei, aus der die Darstellung eines Gebäudes mit und ohne Schnee abgeleitet werden kann (Abbildung 61).



Abbildung 61 Modelldarstellung in verschiedenen Jahreszeiten, Quelle: (Gröger et al. 2007)

können in *CityModels* zusammengefasst werden, wobei dies den Bereich einer Stadt, Stadtteile oder auch kleinere Gebiete meinen kann. *CityObjects* können auf über eine Verbindung auf eine Externe Referenz (*ExternalReference*) verweisen. Damit kann die Verbindung zu demselben Objekt in einem anderen Informationssystem hergestellt werden, zum Beispiel auf ALK oder ATKIS. Die Unterklassen von *CityObject* beinhalten die Themenfelder Gelände (*ReliefFeature*), Landnutzung (*LandUse*), Stadtmöblierung (*CityFurniture*), Vegetation (*VegetationObject*), Verkehr (*Transportation*), Objektgruppen (*CityObjectGroup*), Gewässer (*WaterObject*) und Bauwerke (*Sites*). Letztere wird die künftigen Unterklassen für Brücken, Tunnel, Hohlräume, Mauern und Dämme beinhalten. Diese Unterklassen haben weitere Unterklassen, von ihnen werden nur die für das Modellierungsbeispiel relevanten erläutert.

Das Gebäudemodell (*building model*)

Das Gebäudemodell besitzt den größten Detaillierungsgrad, weswegen es aus zwei Teilen besteht und ausführlich dokumentiert ist. Für das Modellierungsbeispiel wird nur das UML-Diagramm des 2. Teils benötigt und es werden nur einige Klassen erklärt. Die wichtigste Klasse ist *AbstractBuilding*, eine Unterklasse von *Site* bzw. durchgängig von *CityObject*, erbt deshalb alle deren Eigenschaften, kann also beispielsweise eine externe Referenz besitzen. Gebäude (*Building*) können aus Gebäudeteilen (*BuildingPart*) bestehen und mit verschiedenen Anbauten (*BuildingInstallation*) versehen sein. Gebäudeteile können sehr gut genutzt werden, wenn beispielsweise unterschiedliche Gebäudehöhen (Geometrie) oder Funktionen innerhalb eines Gebäudes modelliert werden sollen. Das Gebäudemodell beinhaltet LOD1 bis LOD4, denen unterschiedliche Geometrien zugeordnet werden können. Gebäuden können Adressen (*Adress*) zugeordnet werden. Über die in GML definierte Möglichkeit der Adressenmodellierung hinaus kann optional auf den xAL-Adressstandard des OASIS Konsortiums zurückgegriffen werden. Hierzu müssen für die Adressinformationen mit dem Namensraum-vorsatz (xal:) und dem verweisenden Link (urn:oasis:names:tc:ciq:xsd:schema:xAL:2.0) übergeben werden. Die Adresse kann mittels einer Punktcoordinate verortet sein. Weitere Gebäudeinformationen können durch externe Zuordnungstabellen (*ExternalCodeList*) geführt werden, wobei ein interner Schlüssel auf eine externe Liste mit attributiven Werten zeigt.

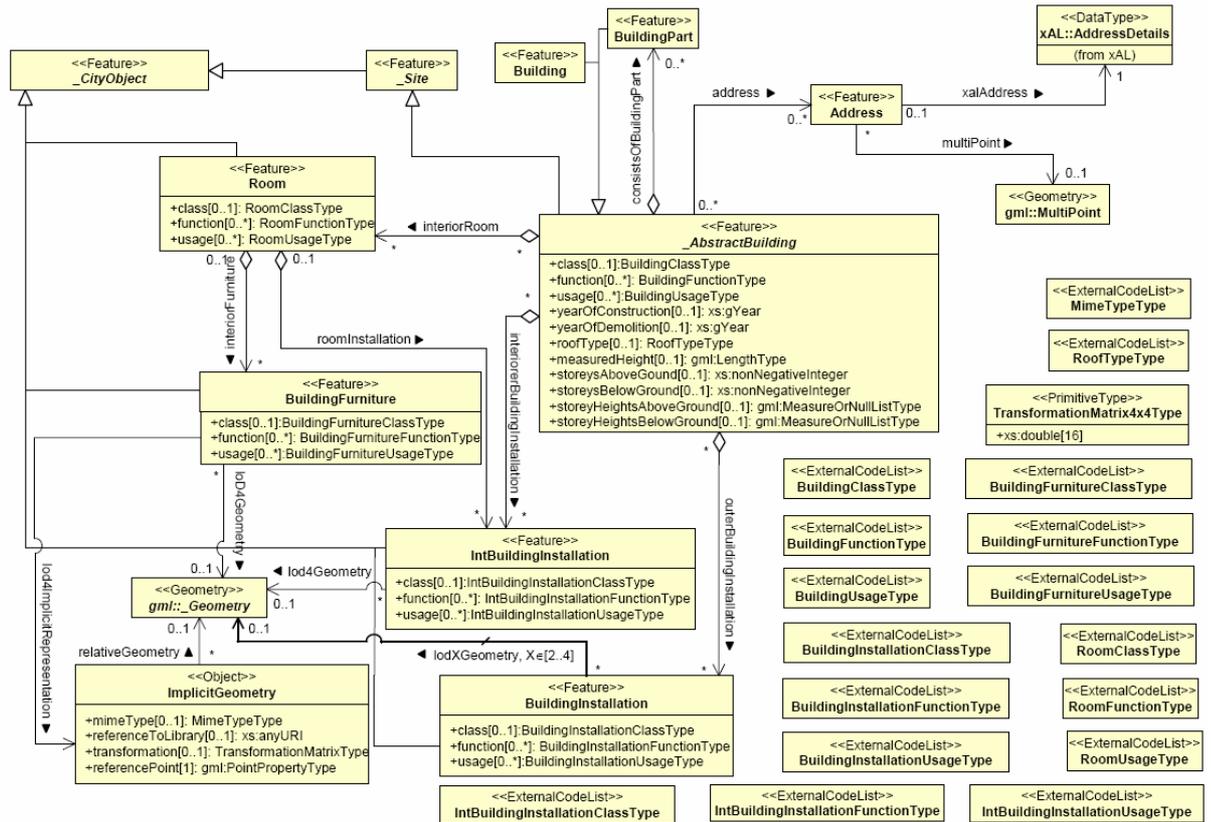


Abbildung 63 UML-Diagramm der Gebäude

Cityobjektgruppen (*city object groups*)

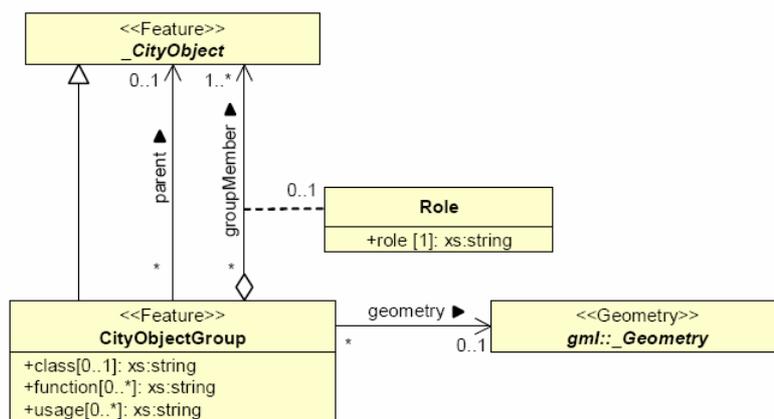


Abbildung 64 UML-Diagramm für Gruppierungen

Cityobjekte können zu Gruppen zusammengefasst werden, die wiederum Cityobjekte sein können. Mit diesem rekursiven Modell können Objekte verschiedenen Gruppen zugeordnet werden. So kann eine Schule zur Gruppe der Schulen gehören. Schulen sind

eine Instanz von Bildungseinrichtungen. Bei der Gruppendifinition ist auf die Vermeidung zyklischer Gruppierungen zu achten.

4.9.2. Modellierung mit CityGML am Beispiel

Das CityGML-Modell erlaubt das Abbilden beliebiger Objekte eines virtuellen Stadtmodells. Dazu werden die Objekte im XML-Format, entsprechend des mitgelieferten Schemas beschrieben. Der Zusammenhang kann in einer ebenfalls mitgelieferten Beispieldatei (SimpleBuildings.xml) hergestellt werden. XML ist ein Textformat und kann mit Standardeditoren geschrieben werden. Hilfreich sind XML-Editoren, wenngleich auch damit das vollständige manuelle Erfassen eines Stadtmodells unrealistisch ist. In der Realität steht für diesen Zweck professionelle Software in Verbindung mit einer Datenbank zur Verfügung, wie im nächsten Kapitel beschrieben.

Beispielhaft soll das Prinzip des Modellierens mit CityGML am CityObject „Rathaus“ dargestellt werden (Abbildung 65). Bei diesem handelt es sich um einen Gebäudekomplex, von dem vier Gebäude und der Turm in Phase1 für die Visualisierung mit ArcScene im CAD-Tool SketchUp erfasst. Im Modell sind unterschiedliche Texturen enthalten, die teils aus kombinierten entzerrten Digitalfotos (Turm, Schmalseiten der Flügel), gescannten Fassadenaufnahmen aus Bauakten (vorderer Flügel) sowie Texturen aus Materialbibliotheken bestehen. Außerdem wurden verschiedene LOD erzeugt. Der hintere Flügel und der Zwischenbau entsprechen mit Gebäudekörper und Standardsatteldach LOD2. Der vordere Flügel mit Scheingiebeln und der Turm können mit LOD3 gleichgesetzt werden. Das Hauptgebäude mit Glasfassade ist begehbar, allerdings besteht es im Beispiel nur aus einem Raum.

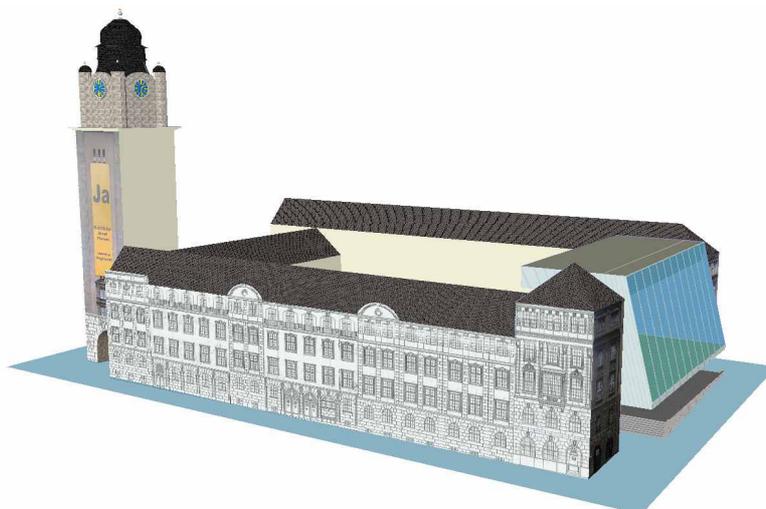


Abbildung 65 Rathausmodell als SketchUp-Auftrag

Für die prinzipielle Erfassung dieses Gebäudekomplexes mittels editierter Textdatei wurden die Gebäude vereinfacht. Zunächst wurden unmaßstäbige Koordinaten verwendet und die Detaillierungsstufen zu LOD2 vereinfacht. Im Folgenden werden jeweils die verbale Beschreibung und der Kontext in der zugrunde liegenden XML-Datei angegeben. Die Textdatei befindet sich im Anhang. Zum Editieren eignet sich nicht nur wegen der besseren Übersichtlichkeit ein XML-Editor. Zwar sind XML-Dateien auch mit normalen Texteditoren bearbeitbar, der eingesetzte frei verfügbare XML-Editor von Microsoft bietet jedoch die Möglichkeit der einfachen Fehleraufdeckung via Error List und Erläuterungen der CityGML-Syntax mittels *map tips*.

Die fünf Gebäude des Rathauskomplexes sollen in diesem Beispiel ein Stadtmodell namens „Virtuelles Stadtmodell Plauen“ repräsentieren. In der Beschreibung wird dies dokumentiert, zusammen mit der Beschreibung des verwendeten Koordinatensystems und weiterer Hinweise.

Am Beginn der Datei stehen ergänzende Beschreibungen sowie die verwendeten Namensräume mit den zugehörigen Verweisen. Elementen dieser Nicht-CityGML-Namensräume wird der entsprechende Präfix vorangestellt.

<ul style="list-style-type: none"> xml #comment #comment #comment #comment CityModel <ul style="list-style-type: none"> xmlns xmlns:gml xmlns:xAAL xmlns:xlink xmlns:xsi xsi:schemaLocation gml:description <ul style="list-style-type: none"> #text gml:name <ul style="list-style-type: none"> #text 	<pre> version="1.0" encoding="UTF-8" Example data for the 3D application schema of the SIG 3D data model Editors: Dr. Gerhard Groeger & Dr. Thomas H. Kolbe, Institute for Cartography.. Diese Datei wurde für Demonstrationszwecke der Master Thesis verändert. Bearbeiter: M.Schiebold http://www.citygml.org/citygml/1/0/0 http://www.opengis.net/gml urn:oasis:names:tc:ciq:xsdschema:xAAL:2.0 http://www.w3.org/1999/xlink http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance http://www.citygml.org/citygml/1/0/0 ../CityGML.xsd Dieser XML Datensatz enthält 5 Gebäude in LOD2, die in einer Gruppe... Virtuelles Stadtmodell Plauen </pre>
---	--

Die Beschreibung in der XML-Datei:

- 1.) Rathausurm mit Zeltdach, einer textur und drei colorierten oberflächen.
 - 2.) Zwei Gebäude mit Satteldach
 - 3.) Zwei Gebäude mit Flachdach
 - 4.) Die Gebaeudegruppe fasst alle fünf Gebäude zusammen.
- Das Koordinatensystem ist DHDN / Gauss-Krueger 3 Grad (4.Streifen) + Normalhöhen im System DHHN92.

Das System verweist auf

`srsName="urn:ogc:def:crs,crs:EPSG:6.12:31468,crs:EPSG:6.12:5783"`.

Die Datei wurde manuell editiert. Deshalb wurden die Koordinaten vereinfacht (vgl. Originaldatei).

Für das Modell kann ein umschreibender Raum in Form eines Quaders angegeben werden (Bounding Box). Die Beschreibung entstammt GML3 (gml:xxx)

<ul style="list-style-type: none"> gml:boundedBy <ul style="list-style-type: none"> gml:Envelope <ul style="list-style-type: none"> srsName gml:pos <ul style="list-style-type: none"> srsDimer #text gml:pos <ul style="list-style-type: none"> srsDimer #text 	<pre> urn:ogc: def: crs, crs: EPSG: 6.12: 31466, crs: EPSG: 6.12: 5783 3 0.0 0.0 0.0 3 10.0 10.0 10.0 </pre>
--	--

Es folgt die Beschreibung des ersten Gebäudes, in diesem Falle des Rathausurmes mit allen thematischen Attributen:



Das Gebäude (*building*) ist ein *CityObjectMember*, mit dem id“Turm“ und dem Namen „Rathausturm“. Es besitzt einen Verweis auf ein externes Informationssystem und hat folgende weitere Attribute:

Externe Referenz: verweist auf ein anderes Informationssystem, hier auf adv-online

Funktion: 1970 kann in Verbindung mit der externen Zuordnungstabelle als Verwaltungsgebäude (*administration Building*) interpretiert werden

Tabelle 8 externe Zuordnungstabelle"Gebäudefunktion"

BuildingFunctionType			
Code list derived from German authoritative standards ALKIS/ATKIS (www.adv-online.de)			
1000	residential building	1840	rubbish bunker
1010	tenement	1850	building for rubbish incineration
1020	hostel	1860	building for rubbish disposal
1030	residential- and administration building	1870	building for agrarian and forestry
1040	residential- and office building	1880	barn
1050	residential- and business building	1890	stall
1060	residential- and plant building	1900	equestrian hall
1070	agrarian- and forestry building	1910	alpine cabin
1080	residential- and commercial building	1920	hunting lodge
1090	forester's lodge	1930	arboretum
1100	holiday house	1940	glass house
1110	summer house	1950	moveable glass house
1120	office building	1960	public building
1130	credit institution	1970	administration building

Baujahr: 1926

Dachtyp: 1120, Turmdach (*pyramidal broach roof*)

Tabelle 9 externe Zuordnungstabelle "Dachtypen"

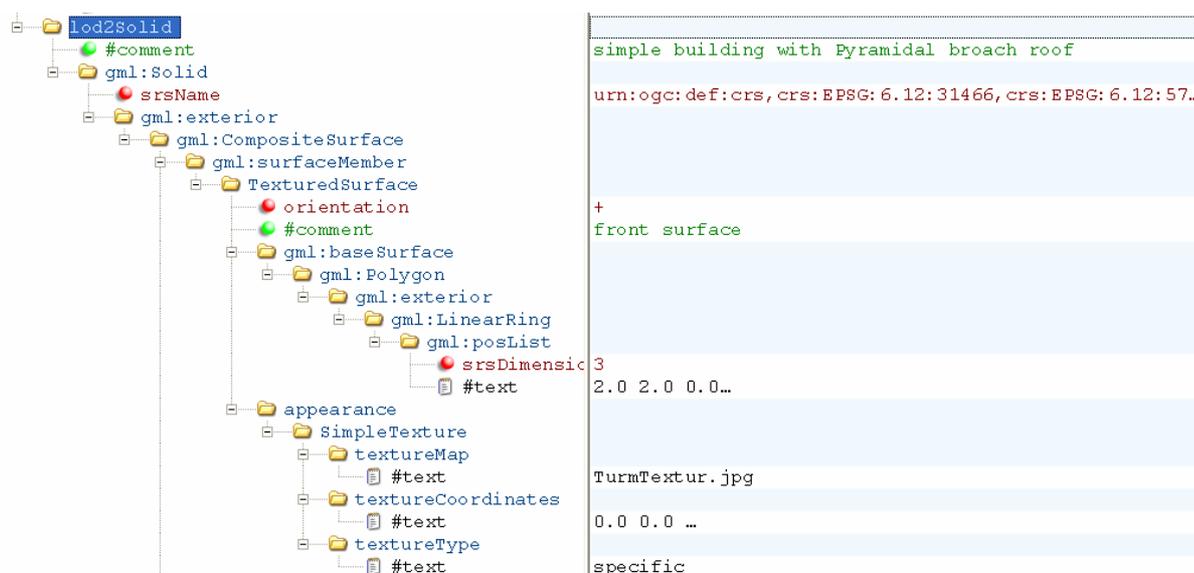
RoofTypeType			
Code list derived from German authoritative standards ALKIS/ATKIS (www.adv-online.de)			
1000	flat roof	1070	pavilion roof
1010	monopitch roof	1080	cone roof
1020	skip pent roof	1090	copula roof
1030	gabled roof	1100	shed roof
1040	hipped roof	1110	arch roof
1050	half-hipped roof	1120	pyramidal broach roof
1060	mansard roof	1130	combination of roof forms

gemessene Höhe: 60.0 (uom spezifiziert die Maßeinheit „m“)

Stockwerke: 3

Stockwerkshöhe: n.n (uom spezifiziert die Maßeinheit „m“)

Es folgt die Festlegung der Geometrie



Die Detailstufe ist LOD2, es handelt sich um einen Körper (*solid*), dessen äußere Begrenzung (*exterior*), die Oberflächen der Geometrie, als Komposit topologisch verknüpft sind (*CompositSurface*).

Es folgt das erste Mitglied des Oberflächenverbundes (*surfaceMember*), welches texturiert (*TexturedSurface*), positiv orientiert (*orientation*) „+“, mittels Kommentar (*comment*) benannt ist: „front surface“, eine Basisfläche (*baseSurface*), in Form einer Fläche (*Polygon*), mit der äußeren Begrenzung (*exterior*), in Form eines linearen Ringes (*linearRing*), entsprechend der folgenden Koordinatenliste (*posList*) aus dreidimensionalen Koordinaten (*srsDimension*) „3“ besteht und folgenden Koordinaten...hat.

Unter *appearance* erhält die Oberfläche ihre Textur (*simpleTexture*), die auf das entzerrte und zusammengesetzte Digitalphoto der Turmfassade (TurmTextur.jpg) verweist, gefolgt von ihren Texturkoordinaten.

Es folgen in dieser Form alle weiteren Geometrien und vier weitere Gebäude auf deren Erläuterung hier verzichtet wird.

Die Gruppierung der fünf Gebäude erfolgt am Ende der Datei und ist selbsterklärend.

The screenshot displays an XML editor interface. On the left, a tree view shows the structure of an XML document. The root node is 'cityObjectMember', which contains a '#comment' node and a 'CityObjectGroup' node. The 'CityObjectGroup' node has several sub-elements: 'gml:id', 'gml:name', '#text', 'function', '#text', and four 'groupMember' nodes. Each 'groupMember' node has a 'role' attribute and an 'xlink:href' attribute pointing to a specific building ID (e.g., '#Haus2', '#Turm', '#Haus1', '#Haus3', '#Haus4'). On the right, a preview window shows the rendered XML structure for the 'GebäudegruppeBuilding 'Rathaus' mit Turm und vier...' group. The preview shows the following structure:

```

GebäudegruppeBuilding 'Rathaus' mit Turm und vier...
Complex113
Stadtverwaltung 'Rathaus'
building group
Hauptgebäude
#Haus2
#Turm
#Haus1
#Haus3
#Haus4

```

An dieser Stelle sei noch die hilfreiche Funktionsweise des XML-Editors demonstriert, der mit dem XML-Schema verknüpft ist und fehlerhafte Modellierungen in der Fehlerliste meldet. Zu diesem Zweck wird die Adresse nicht einem Gebäude, sondern der Gebäudegruppe zugeordnet.

```

<cityObjectMember>
  <!--GebäudegruppeBuilding 'Rathaus' mit Turm und vier Gebäuden: Haus1, Haus2, Haus3 und Haus4 jeweils mit Referenz.-->
  <CityObjectGroup gml:id="Complex113">
    <gml:name>Stadtverwaltung 'Rathaus'</gml:name>
    <function>building_group</function>
    <groupMember role="Hauptgebäude" xlink:href="#Haus2" />
    <groupMember xlink:href="#Turm" />
    <groupMember xlink:href="#Haus1" />
    <groupMember xlink:href="#Haus3" />
    <groupMember xlink:href="#Haus4" />
    <address>
      <Address>
        <xalAddress>
          <xAL:AddressDetails>
            <xAL:Country>
              <xAL:CountryName>Germany</xAL:CountryName>
              <xAL:Locality Type="Town">
                <xAL:LocalityName>Plauen</xAL:LocalityName>
                <xAL:Thoroughfare Type="Street">
                  <xAL:ThoroughfareNumber>1</xAL:ThoroughfareNumber>
                  <xAL:ThoroughfareName>Unterer Graben</xAL:ThoroughfareName>
                </xAL:Thoroughfare>
                <xAL:PostalCode>
                  <xAL:PostalCodeNumber>08525</xAL:PostalCodeNumber>
                </xAL:PostalCode>
              </xAL:Locality>
            </xAL:Country>
          </xAL:AddressDetails>
        </xalAddress>
      </Address>
      <multiPoint>
        <gml:MultiPoint>
          <gml:pointMember>
            <gml:Point>
              <gml:pos srsDimension="3">6.5 4.0 1.0</gml:pos>
            </gml:Point>
          </gml:pointMember>
        </gml:MultiPoint>
      </multiPoint>
    </Address>
  </Address>
</CityObjectGroup>
</cityObjectMember>
</CityModel>

```

Im Code der XML-Datei erscheint dieses Konstrukt plausibel, im XML-Editor erscheint jedoch eine Warnung in Zeile 703.

The screenshot displays an XML editor interface. On the left, a tree view shows the structure of an XML document. The root element is 'cityObjectMember', which contains a '#comment' element and a 'CityObjectGroup' element. The 'CityObjectGroup' element has several 'groupMember' elements and an 'address' element. The 'address' element is expanded to show 'xalAddress', which contains 'xAL:AddressDetails'. This element further contains 'xAL:Country' (with 'xAL:CountryName' set to 'Germany'), 'xAL:Locality' (with 'xAL:LocalityName' set to 'Plauen'), and 'xAL:Thoroughfare' (with 'xAL:ThoroughfareName' set to 'Unterer Graben'). The 'xAL:Thoroughfare' element also has a 'Type' attribute set to 'Street'. The 'xAL:PostalCode' element is set to '08525'. The 'multiPoint' element is also visible at the bottom of the tree view.

On the right, the code view shows the XML structure for a building group. The root element is 'GebaeudegruppeBuilding 'Rathaus' mit Turm und vier...'. Below it, the 'Complex113' element is shown with the text 'Stadtverwaltung 'Rathaus'' and 'building group'. The 'xAL:Country' element is set to 'Germany', the 'xAL:Locality' element is set to 'Plauen', and the 'xAL:Thoroughfare' element is set to 'Street' with the value 'Unterer Graben'. The 'xAL:PostalCode' element is set to '08525'.

At the bottom of the editor, an error list shows a warning: 'The element 'CityObjectGroup' in namespace 'http://www.citygml.org/citygml/1/0/0' has invalid child ele...'. The file name is 'Beispiel_MasterThesis.gml', the line number is 703, and the column number is 8.

Ein Blick in das UML-Diagramm (Abbildung 63) erklärt den Zusammenhang: Adressen können nur Gebäuden und nicht Gebäudegruppen zugeordnet werden.

Zum Abschluss des Modellierungsbeispiels erfolgt die Überprüfung des erstellten Miniatur-Stadmodells mittels LandXplorer. Im CityGML-Browser können die übergebenen Attribute angezeigt werden.

Tabelle 10 Attribute im LandXplorer

CityGML Browser

Beispiel_MasterThesis

Type (Name)
CityGMLModel (Viruelles Stadtmodell Plauen)

- Building (Rathausturm)
 - outerBuildingInstallation
 - storeyHeightsBelowGround
 - storeyHeightsAboveGround
 - outerCharacteristic
 - addresses
 - Address
 - XALEntry
 - childElements
 - XALEntry
 - childElements
 - XALEntry
 - childElements
 - attributes
 - externalReference
 - XALEntry
 - childElements
 - XALEntry
 - childElements
 - attributes
 - externalReference

Details

Add Generic Attribute Convert to...

Selected Object: <noName>
Type: XALEntry
File Position: <<No line numbers available>>

| Attribute | Value |
|----------------------|------------------|
| value | Unterer Graben |
| xmlName | ThoroughfareName |
| name | |
| description | |
| lineage | |
| reasonForUpdate | |
| updatingPerson | |
| lastModificationDate | |
| creationDate | |
| terminationDate | |

Tabelle 11 manuell editiertes, vereinfachtes Modell des Rathauskomplexes

LandXplorer Studio Professional - [Test_Rathaus.idx*]

File Edit View Insert Database Navigation Tools Extras Window Help

Objects

| Name | Type |
|-----------------------|---------------|
| LandXplorer Project | Project |
| Beispiel_MasterThesis | City Model |
| Compass | Compass |
| Default shading | Ground S... |
| Default Sky | Background |
| Look from Above | Navigation... |
| Maximum Distance | Navigation... |
| MetaView | MetaView |
| Navigation Settings | Navigation... |
| Start-up Position | Bookmark |
| Terrain | Terrain |
| Watermark | Watermark |

LAND X PLORER
www.3dgeo.de

Hierarchy Type

[2.80602914; 0.00000000; 5.96770208] LandXplorer Studio Professional - v3.3.4.11516 [2007-05-31] Database: Disconnected

4.10 3D-Geodatenbank

Die im Kapitel 4.9.2 dargestellte manuelle Überführung von Realobjekten nach CityGML mittels editierter XML-Daten ist nur eine theoretische Möglichkeit, die in der Realität allein aus Kapazitätsgründen nicht angewendet werden kann. Für einen interoperablen Datenaustausch müssen die Daten eines virtuellen Stadtmodells automatisiert erfasst und in einer Datenbank abgelegt werden.

Dabei ist im Voraus die Frage zu klären, wie diese Daten in der Datenbank organisiert werden sollen. Die UML-Diagramme des CityGML-Datenmodells können grundsätzlich in ein Datenbankschema überführt werden. Bei Vorhandensein der entsprechenden XML-Schemata ist technisch sogar eine automatisierte Lösung durch die Nutzung entsprechender Software möglich. Die Firma Snowflake hat mit GO_Loader ein solches Programm in der Produktpalette, welches XML-Schemata in eine Oracle-Datenbank überführen kann. Bei einem Programmtest konnte die Überführung des kompletten CityGML-Schemas zwar nicht realisiert werden, wohl aber gelang ein teilweiser Transfer.

Prinzipiell können aus UML-Diagrammen relationale Datenbank-Schemata abgeleitet werden. Das Verfahren ist in (Jakob 2006) und (Plümer et al. 2007) beschrieben und wird hier nur in den Grundprinzipien wiedergegeben. Zunächst wird jeder Klasse eine eigene Tabelle zugewiesen. Ausnahmen bilden wegfallende Klassen, verschmolzene Klassen oder Klassen, die zu Attributen definiert werden können. Für die Geometriedaten müssen die spezifischen Datentypen der jeweiligen Datenbank verwendet werden, beispielsweise SDO_Geometry bei einer Oracle Spatial Datenbank. Vererbung und Aggregationen lassen sich durch entsprechende Fremdschlüssel sicherstellen. Assoziationen können in Form von 1:n- oder n:m-Beziehungen vorliegen, die ebenfalls durch Schlüsseleinträge realisiert werden. Im Falle n:m muss im Zuge der Normalisierung eine Verbindungstabelle diese Beziehung sicherstellen. Explizite Klassenzugehörigkeit wird durch die Einführung einer Metatabelle realisiert. In der Dokumentation der 3D-Geodatenbank Berlin (Plümer et al. 2007) können die Datenbankschemata zur Abbildung von CityGML in einer Oracle 10g Datenbank eingesehen werden.

Von der Vorstellung einer 1:1 Umsetzung des CityGML-Modells in einer Datenbank ist aus verschiedenen, nicht zuletzt auch aus Performanzgründen Abstand zu nehmen (Bezema et al. 2007). Tatsächliches Kriterium des Datenbankesigns ist die Sicherstellung einer nachhaltigen Interoperabilität und muss im Pflichtenheft entsprechend verankert werden. Dabei ist der Sprachumfang von CityGML inklusive der Optionen zur Weiterentwicklung von CityGML, wie sie im OGC-Dokument niedergeschrieben sind und darüber hinaus zu gewährleisten. Im Übrigen ist sowohl auf dem Gebiet der Datenbanken, wie auch bei GIS-Herstellern ein starker Entwicklungsdruck hinsichtlich CityGML zu bemerken, mit diesbezüglichen Ergebnissen ist in der näheren Zukunft zu rechnen. Als Beispiele seien die FME-Schnittstelle der Firma conterra oder die bereits in LandXplorer integrierte Oracle-Datenbankanbindung der Firma 3D Geo genannt.

Für den Fall der Realisierung der Phase 2 des Projektes *Plauen*³ ist die Möglichkeit einer Implementierung auf der vorhandenen Datenbank MS SQL Server zu prüfen.

4.11 Gebäuderekonstruktion aus 3D-Daten

Um reale Objekte modellieren zu können ist ihre Rekonstruktion im Datenbestand erforderlich. Nach (Gülch 2005) existieren hierzu verschiedene Methoden:

- klassischer Stereophotogrammetrie
- Automatisierte Verfahren der Aerophotogrammetrie und Fernerkundung
- Airborne Laserscanning
- Geodätische Erfassung durch Vermessung
- terrestrische Photogrammetrie oder Laserscanverfahren
- mobile Datenerfassung mit Fahrzeugen

Für die Gebäuderekonstruktion kommen nur die drei erstgenannten in Frage, da nur sie die Erfassung von Dachlandschaften gestatten.

Die Gebäudemodelle können in prismatische, parametrische und polyedrische Modelle eingeteilt werden, wobei ihre Begrenzungsflächen stets planar sind. (Abbildungen nach (Gülch 2005))

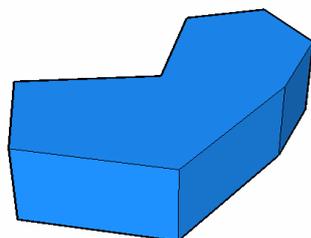


Abbildung 66 prismatisches Modell

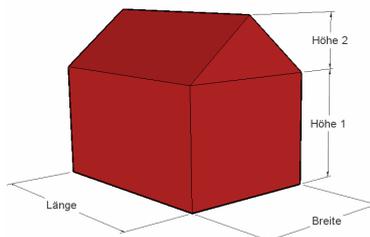


Abbildung 67 parametrisches Modell

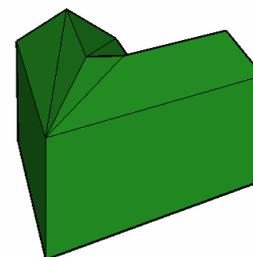


Abbildung 68 polyedrisches Modell

Es existieren verschiedene photogrammetrische Verfahren, die ein 3D-Modell mittels Anpassung dieser Grundformen (Primitive) an die Messwerte im Stereomodell erzeugen. Dabei werden unterschiedliche Automationsgrade erreicht, wobei in der Praxis überwiegend halbautomatische Verfahren Anwendung finden.

Bei photogrammetrischen Verfahren müssen für die Bestimmung dreidimensionaler Messwerte generell identische Punkte in zwei Bildern detektiert werden, unabhängig ob die Verfahren stereoskopisch oder mit getrennten Bildern arbeiten. Im städtischen Bereich treten dabei häufig Probleme durch verdeckte Bereiche auf, die durchgängig automatisierte Methoden erschweren.

Flugzeuggetragene Laserscanverfahren leiden an diesem Problem nicht. Sie arbeiten nach dem Prinzip der Laufzeitmessung, vergleichbar dem Prinzip reflektorloser Tachymeter. Ein gepulster Laserstrahl tastet vom Flugzeug aus die Messobjekte ab, von denen der Laserpuls reflektiert wird und vom Empfänger im Flugzeug registriert wird. Gemessen wird die Laufzeit des Impulses. Im Ergebnis liefert das Verfahren zunächst eine dichte Punktwolke, die die Oberfläche des Geländes repräsentiert, für die sich die Begriffe Digitales Oberflächenmodell (DOM) oder Digitales Höhenmodell (DHM) eingeprägt haben. In den Punktdaten sind jedoch weitere Messwerte enthalten, die mittels verschiedener Filteroperationen gewonnen werden können. Trifft der Laser beispielsweise auf ein Vegetationsobjekt, wird zuerst ein Impuls registriert, der im Bereich der Krone von einem Blatt reflektiert wird (*first Puls*). Zu einem späteren Zeitpunkt wird in Strahl reflektiert, der das Blätterwerk durchdrungen hat, und von der Geländeoberfläche reflektiert wird (*last Puls*). Die Differenz der beiden Pulslaufzeiten ergibt prinzipiell die Höhe des Vegetationsobjektes. (Haala 2005)

Die Kombination von DHM und Grundrissen eröffnet das vollautomatische detektieren dreidimensionaler Gebäudemodelle. Die Grundrissdaten liegen inzwischen zum größten Teil in GIS vor. Diese werden zunächst in einzelne Rechtecke (2D-Primitive) zerlegt und bilden damit die Grundflächen der definierten 3D-Primitive. Diese 3D-Primitive können als Quader verstanden werden, die mit vorgefertigten Dachformen kombiniert werden. Die Parameter der endgültigen Dachformen werden mittels Kleinste-Quadrate-Schätzung in der Art ermittelt, dass die Differenz zwischen definierter Dachform und DHM ein Minimum bildet. Ergebnis sind ineinander verschachtelte 3D-Primitive, die mittels üblicher CAD-Verfahren einer Randdarstellung unterzogen werden. Durch Verschneidung der Körper und Eliminierung der Innenflächen entsteht der Gebäudekörper. Das beschriebene Verfahren kann in Abbildung 69 nachvollzogen werden. Auf der linken Seite befinden sich die Eingabedaten, rechts die Ausgabedaten. Die beiden Pfeilsymbole zeigen die interaktiven Eingriffspunkte eines Operateurs. (Brenner & Haala 2007)

Die Abbildung 69 illustriert die wesentlichen Arbeitsschritte des Verfahrens. Volle Automatisierung ist auch mit dieser Technologie nicht erreichbar, das Vorliegen von Abweichungen in den Grundrissdaten führt beispielsweise zu groben Fehlern, und notwendigen interaktiven Eingriffen.

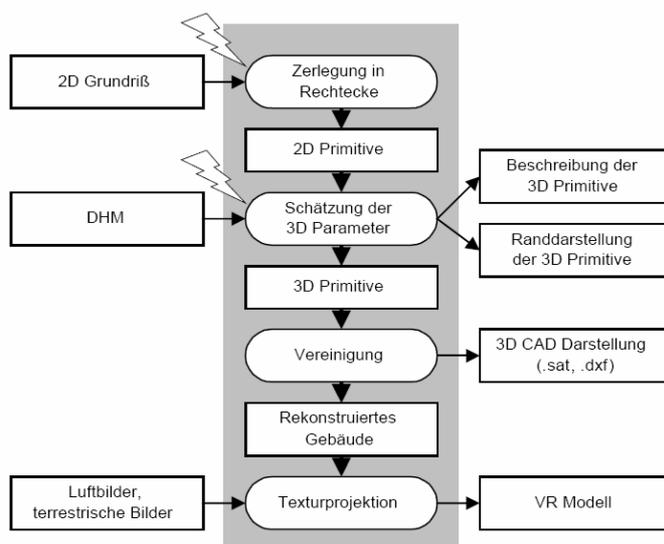


Abbildung 69 Ablaufschema der Gebäuderekonstruktion Quelle: (Brenner & Haala 2007)

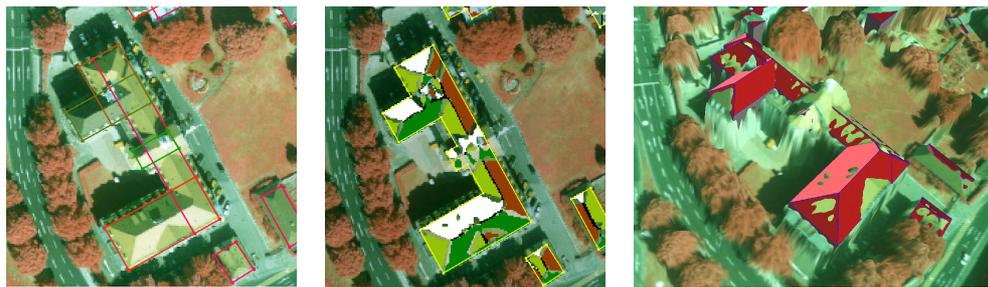


Abbildung 70 Gebäuderekonstruktion Quelle: virtualcitysystems

Das so erhaltene Gebäudemodell kann anschließend in weiteren Arbeitsschritten verfeinert und texturiert werden.

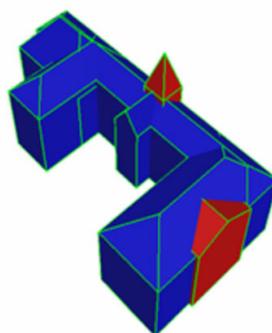


Abbildung 71 rekonstruiertes Modell Quelle: (virtualcitysystems)

Ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens wird in der Nutzung der Ausgangsdaten, *Laserscan* und Grundrissdaten gesehen. Die Nutzung der Laserdaten erfolgt nach der Ableitung eines DGM zum zweiten Mal und relativiert somit die Beschaffungskosten. Weiteres Einsparungspotential liegt im Verzicht auf photogrammetrische Technik bzw. Dienstleistung. Die Genauigkeit der Gebäuderekonstruktion hängt von der Auflösung der Laseraufnahme ab. Bei weniger als 4 Punkten pro m² kann eine mittlere Gebäudehöhe bestimmt werden, bei 4 bis 7 Punkten pro m² sind Standarddachformen ableitbar und bei 7 bis 10 Punkten pro m² werden detaillierte Dachformen erhalten.

Die Rohdaten der Laserbefliegung des Landesvermessungsamtes Sachsen erlauben mit einer Auflösung von 1,3 bis 1,7 Punkten pro m² keine Erzeugung detaillierter Dachlandschaften, allerdings kann LOD1 abgeleitet werden. Im konkreten Fall einer Datenbeschaffung, koordiniert allerdings das Landesvermessungsamt die Auslösung von Befliegungsaufträgen höherer Genauigkeitsanforderungen und sollte deshalb zuerst kontaktiert werden.

4.12 Visualisierung in Projektphase 2

Für die Visualisierung in Phase 2 stand das Autorenwerkzeug LandXplorer Studio Professional zur Verfügung. Die Nutzung der Software hat entscheidende Vorteile im Vergleich zum Verfahren, wie es in Phase 1 beschrieben wurde. Zunächst unterstützt es voll umfänglich CityGML. Das heißt, alle zur Verfügung stehenden Beispieldaten (www.citygml.org (31.8.2007)) konnten problemlos integriert werden.

Wichtig war die Übernahme der Daten aus der Projektphase 1. Mit dem DGM als Basis gelang dies ohne weiteres, ebenso konnten die Grundrissdaten im Shape-Format eingelesen werden.

Das Erzeugen von LOD1 auf der Basis importierter Gebäudegrundrisse ist auf verschiedenen Wegen möglich. Sind in den Sachdaten Höheninformationen enthalten, beispielsweise aus terrestrischer Vermessung wie in Kapitel 4.4, können diese zur parametrischen Höhenzuweisung genutzt werden, andernfalls sind die Gebäudehöhen variabel interaktiv festzulegen oder aus Geschosßanzahlen zu generieren.

Zur Texturierung konnten ebenfalls die in Phase 1 erzeugten entzerrten Fassadenphotos genutzt werden. Deren Platzierung und Ausrichtung auf den jeweiligen Gebäudekörpern ist individuell und flexibel anpassbar.

Für die Abbildung des Detaillierungsgrades LOD2 können Standarddächer zugewiesen werden, deren Ausrichtung sich nach der längsten Gebäudeseite richtet. Bei diesem Programmbaustein wäre eine etwas flexiblere Handhabung wünschenswert, beispielsweise die Orientierung an eingebbaren Firstlinien*. Diese könnten aus ALK-, ATKIS-Informationen oder aus Orthophotos erhalten werden.

* Diese Funktion ist für das 4. Quartal 2007 angekündigt.

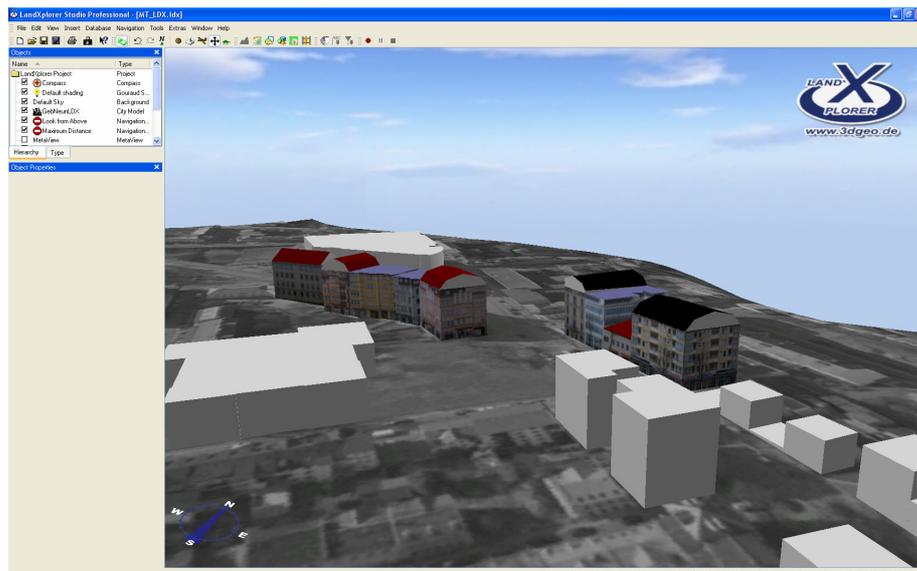


Abbildung 72 Visualisierung in Phase 2 mit LandXplorer Studio

Der große Vorteil der LandXplorer Software ist die Speicher- und Exportmöglichkeit der Daten in CityGML-Dateien. In der verwendeten Version Professional ist bereits eine Schnittstelle für Oracle-Datenbanken vorgesehen.

Zu den, die in LandXplorer erstellten Gebäudemodellen konnten die in Phase 1 mit SketchUp erzeugten Gebäudemodelle im Format 3DS übernommen werden, was deren Aufwand bei der Erzeugung rechtfertigt.

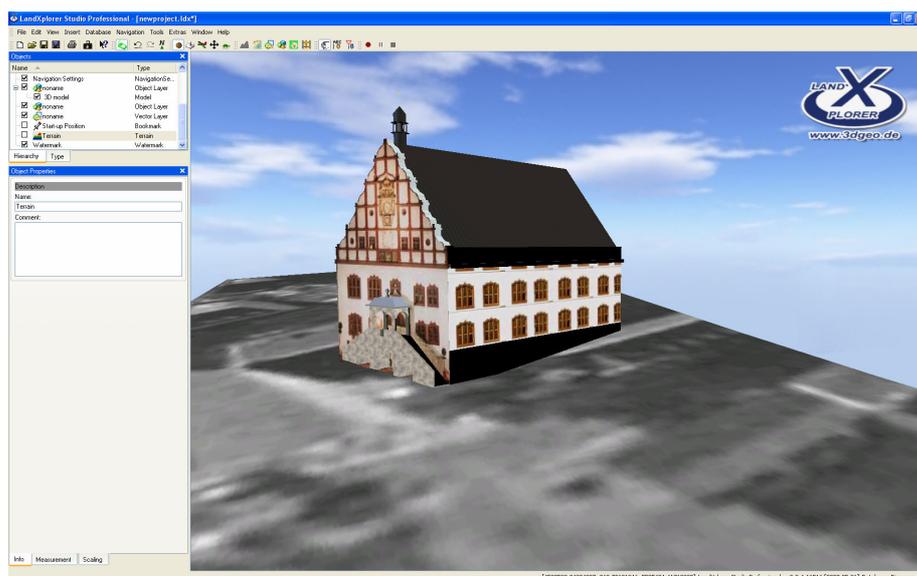


Abbildung 73 importiertes Modell aus Phase 1

Mit dem integrierten Smart Building Editor, der in einer Beta-Version ebenfalls Bestandteil des eingesetzten LandXplorers zur Verfügung stand, können Gebäude entsprechend des smart buildings-Konzepts, wie es in Kapitel 2.6.1 beschrieben ist, erzeugt werden.

Der inzwischen ebenfalls in einer Beta-Version vorliegende Smart Terrain Editor stand noch nicht zur Verfügung, was dahingehend bedauerlich ist, dass mit der Visualisierung des Ist- und Planungszustandes der Ausbaumaßnahmen „Neundorfer Straße“ ein typischer Anwendungsfall für das Smart-Building-Modell vorgelegen hat.

4.13 Systemarchitekturen

Gegenwärtig ist innerhalb der Stadtverwaltung eine typische Version von ESRI ArcGIS als datenbankbasierte Netzwerkinstallation realisiert. Zum Einsatz kommt MS SQL Server als Datenbank mit der Middleware ArcSDE. Der interaktive Zugriff auf dynamische Geodaten mit Standardbrowsern im Intranet wird durch Einsatz von ArcIMS sichergestellt.

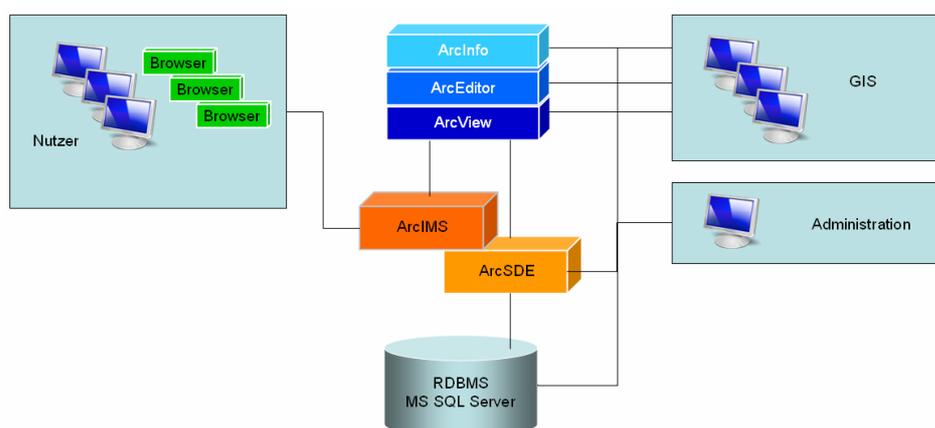


Abbildung 74 Systemarchitektur Ist-Zustand Quelle: (nach ESRI-Infomaterial)

Die Abbildung 74 stellt schematisch die Lösung entsprechend der in Phase 2 bearbeiteten Variante mit der ESRI-Extension ArcView 3D Analyst dar. Als CAD-Tool kommt SketchUp zum Einsatz. Die bisherigen Verbindungen bleiben bestehen, wurden aber aus Übersichtsgründen nicht dargestellt.

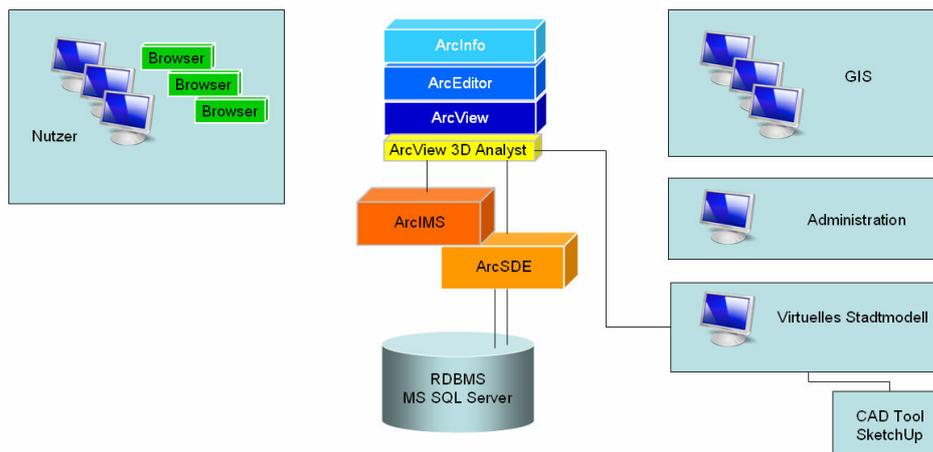


Abbildung 75 Systemarchitektur entsprechend Phase 1

Die letzte Abbildung verdeutlicht eine High End-Lösung, mit dem Software-Paket 3D GeoServer, zusätzlicher Datenbank mit Projektverzeichnis (Repository) und einem Cache-Bereich für den schnellen Datenzugriff. Das Autorentool LandXplorer Studio Pro und das CAD-Tool SketchUp stehen zur Verfügung. Auf der Nutzerseite sorgen Web Map Services und LandXplorer (LDX) Express für den Zugriff auf die 3D-Daten.

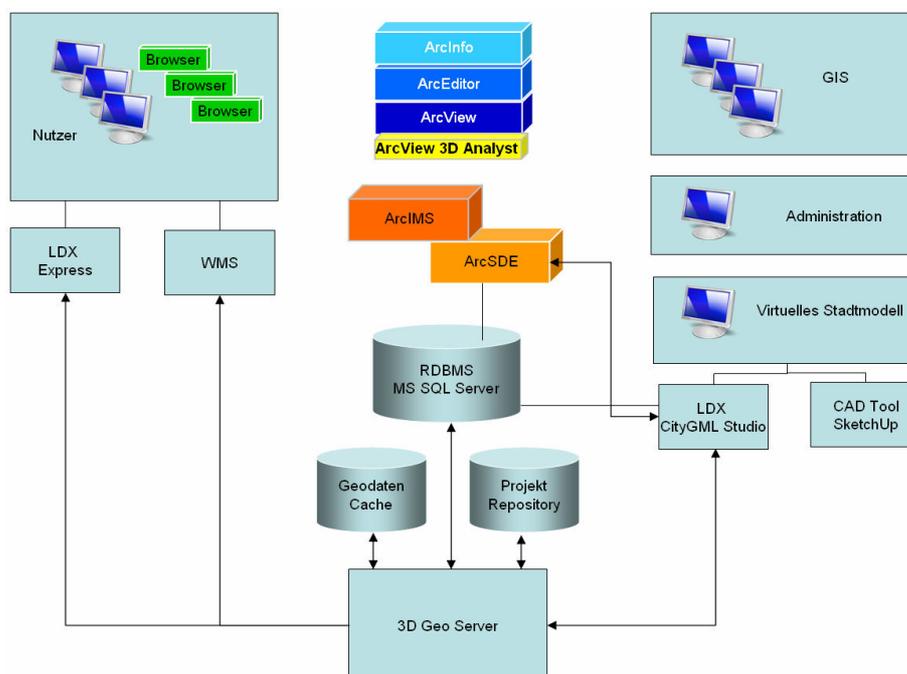


Abbildung 76 optimale Systemarchitektur in Phase 2 System

5 Ergebnisse

Mit dieser Master Thesis sollte gezeigt werden, dass die Realisierung eines interoperablen virtuellen Stadtmodells mit vertretbarem Aufwand möglich ist. Wie und mit welchen Mitteln solch ein System aufgebaut werden kann, war Thema der vorliegenden Arbeit. Dabei sollten die folgenden drei Fragen beantwortet werden:

- Welche Schritte sind zur Etablierung eines virtuellen Stadtmodells notwendig?
- Wie kann die Interoperabilität eines Stadtmodells gesichert werden?
- Wie hoch ist der Aufwand für die Realisierung des beschriebenen Projektes?

Am Beginn der Arbeit wurden zunächst theoretische Betrachtungen angestellt und wichtige Begriffe erläutert. Die Bedeutung virtueller Stadtmodelle wurde unterstrichen und ihre Einsatzmöglichkeiten dargelegt. Mit der Forderung nach Interoperabilität wurde verdeutlicht, dass virtuelle Stadtmodelle nur sinnvoll genutzt werden können, wenn sie diesem Kriterium entsprechen. Auf den Zusammenhang von Interoperabilität und Standards, sowie auf die wichtige Rolle des *Open Geospatial Consortiums* wurde hingewiesen. Obwohl CityGML gegenwärtig noch kein OGC-Standard ist, wurde die Orientierung auf dieses Austauschformat und Datenmodell beim Aufbau eines virtuellen Stadtmodells empfohlen. Die Darstellung weiterführender Konzepte deutet auf die aktuelle dynamische Entwicklung auf dem Gebiet der virtuellen Stadtmodelle hin, und legt damit den Einstieg einer Kommune in dieses Thema nahe.

Die Beantwortung der obigen Fragen wurde in Form des Projektkonzeptes *Plauen*³ bearbeitet und kann in folgenden drei Punkten zusammengefasst werden:

- Mit den Arbeitspaketen, die in den Abschnitten des Kapitels 4 beschrieben wurden, liegen Bausteine vor, die unmittelbar in das künftige Pflichtenheft eines realen Projektes einfließen können. Dabei kann ein derartiges Projekt flexibel an die Bedürfnisse und Möglichkeiten des Betreibers eines virtuellen Stadtmodells angepasst werden. Konkrete Vorschläge für ein solches System finden sich im folgenden Abschnitt.
- Die Forderung nach Interoperabilität kann durch die Orientierung eines zu etablierenden VSM am Datenmodell der *Candidate OpenGIS[®] CityGML Implementation Specification (City Geography Markup Language)* sichergestellt werden.

- Die Beantwortung der Frage nach dem zu betreibenden Aufwand bei der Realisierung des Projektkonzepts ist relativ zu geben. Bewertet man die Möglichkeiten eines virtuellen Stadtmodells und die in Gänze noch nicht absehbare Entwicklung eines Marktes für 3D-Produkte als effektiven Nutzen, kann der definitiv entstehende Aufwand als gering eingeschätzt werden. Der Rückgriff auf CityGML mindert die Höhe des Aufwandes in jedem Fall durch den Wegfall des Entwicklungsaufwandes für eine eigenes Datenmodell. Die vorhandenen Softwarelösungen und gegenwärtig zu beobachtenden Entwicklungstendenzen namhafter Softwareanbieter im CityGML-Umfeld erlauben bereits heute die Nutzung konfektionierter Hard- und Software zum Betreiben interoperabler virtueller Stadtmodelle. Bei Ausnutzung dieser Möglichkeiten lässt sich der in Frage stehende Aufwand weiter reduzieren. Durch die im nächsten Kapitel angeführten Beispielkonstrukte denkbarer Systemlösungen kann der Aufwand an den konkreten Bedarf optimal angepasst werden. Letztlich sei auf den nicht zu beziffernden Imagegewinn hingewiesen, der mit einem zukunftsorientiertem und innovativem virtuellen Stadtmodell verbunden werden kann.

6 Interpretation der Ergebnisse

Mit den Ergebnissen des Projektkonzepts *Plauen*³ konnte gezeigt werden, dass mit den vorhandenen Ressourcen eine gute Basis zum Aufbau eines virtuellen Stadtmodells vorhanden ist. Mit geringem Aufwand und unter Nutzung weniger Softwareprodukte konnte das Planungsgebiet im Ist-Zustand dreidimensional visualisiert werden.

Mit dem CityGML-Konzept und weiterer Software ist es möglich interoperable dreidimensionale Daten zu generieren.

Von der ursprünglichen Idee, die gegebene GIS-Infrastruktur um die Extension 3D Analyst systemkompatibel zu erweitern, um damit ein virtuelles Stadtmodell zu erstellen, wird in letzter Konsequenz abgeraten. Nicht zuletzt ist die erwähnte eingeschränkte Nutzung im Netz ein Problem.

Die Extension 3D Analyst bietet allerdings weit mehr Funktionalitäten, als das Visualisieren dreidimensionaler Objekte mit ArcScene oder ArcGlobe. Ohne auf diese im Detail einzugehen, liegt der Schwerpunkt der Anwendungen auf räumlichen Analysen von Vektor- und Rasterdaten. Sollten beispielsweise in der Landschaftsplanung derartige Lösungen gesucht werden, kann ein Zusatznutzen durch ArcScene erzeugt werden.

Das wesentliche Entscheidungskriterium bei der Erstellung virtueller Stadtmodelle ist die Interoperabilität, die durch die Nutzung der Möglichkeiten, die CityGML bietet erreicht werden kann.

Demnach muss primär eine Entscheidung zugunsten von Hard- und Softwareprodukten gefällt werden, die diese Technologie unterstützen.

Dabei kann mit einer Minimalkonfiguration begonnen werden. So wird beispielsweise in einer Start- oder Pilotphase zunächst keine Datenbankanbindung benötigt. Ebenso kann auf die Konstruktion von 3D-Modellen nach dem Prinzip von smart buildings zunächst verzichtet werden. In diesem Falle steht mit LandXplorer Studio ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem effizient CityGML-konforme Daten erzeugt werden können. Der finanzielle Aufwand ist in diesem Fall mit 1950,- € als gering zu bezeichnen. Der Einstieg in die „3D-Welt“ ist in Form eines Pilotprojektes denkbar, wobei interdisziplinär mit den Fachabteilungen reale Szenarien mit dreidimensionalen Daten

getestet werden können, um so neue Erkenntnisse zu gewinnen, ob und in welcher Form 3D-Modelle die Verfahrensabläufe in der Stadtverwaltung erleichtern können.

Die Speicherung von 3D-Modellen sollte in einer Datenbank erfolgen. Dabei kann ebenfalls auf die existierende Technik zurückgegriffen werden. Das dafür nötige CityGML-Werkzeug ist LandXplorer Studio Professional, das als weiteres Feature smart buildings erzeugen kann. Auch diese Lösung stellt mit 8950,- € keinen übermäßig hohen finanziellen Aufwand dar.

Die optimale Realisierung eines virtuellen Stadtmodells ist eine serverbasierte Lösung mit 3D-Geodatenbank und verteiltem Netzzugriff über Web Services, die sich mit ca. 25000,- € allerdings im Investitionsbereich darstellt. Die Lösung entspricht der Systemarchitektur entsprechend Phase 2 des Konzepts (Kapitel 4.13).

Die angegebenen Preise verstehen sich als Listenpreise zum Zeitpunkt 3. Quartal 2007 und dienen vordergründig dem Vergleich der verschiedenen Systemlösungen, die aus den Ergebnissen des Projekts ableitbar sind.

7 Rückblick und Ausblick

Mit der vorliegenden Arbeit wurden die Möglichkeiten zur Etablierung eines interoperablen virtuellen Stadtmodells in einer mittelgroßen Kommune untersucht. Dabei waren die aktuellen Entwicklungen auf dem Gebiet der Standards zu berücksichtigen. Die Bestrebungen der Special Interest Group 3D der Geodateninitiative Nordrhein-Westfalen, mit der City Geography Markup Language einen OGC-Standard zu entwickeln, waren dabei ebenso zu berücksichtigen wie die Initiativen der *International Alliance for Interoperability* hinsichtlich der Entwicklung eines Interoperabilitätsstandards auf dem Gebiet des Bauwesens. Dieser Kontext wurde in einem theoretischen Teil behandelt.

In einem praktischen Teil wurde zunächst die vorhandene GIS-Architektur auf einen möglichen Einsatz zum Aufbau eines virtuellen Stadtmodells untersucht. Mittels Erweiterung der eingesetzten Produktfamilie ArcGIS um die Extension 3D Analyst und das 3D-CAD-Tool SketchUp wurden die verschiedenen Verfahrensschritte beispielhaft getestet und dokumentiert. Dieser Teil der Arbeit wurde an einem realen Planungsgebiet untersucht. Nötig war eine örtliche Vermessung der Gebäudehöhen. Nach Konstruktion der Gebäudemodelle wurden diese ins GIS übernommen und konnten anschließend visualisiert werden.

In einem weitem, zunächst theoretisch zu bearbeitenden Teil wurde der Weg zu einem interoperablen virtuellen Stadtmodell auf der Basis von CityGML beschrieben. Nachdem mit LandXplorer Studio Professional eine zu CityGML kompatible Software zur Verfügung stand, konnten die im CAD-Tool SketchUp erfassten Gebäude visualisiert und in CityGML-Format gespeichert werden. Ebenso konnte mit den originären Ausgangsdaten verfahren werden.

Die Arbeitsschritte wurden in einem fiktiven Projekt zusammengefasst, das als Basis für ein Realisierungskonzept dienen kann. Dabei können aus den Arbeitspaketen des Projektkonzepts flexible Lösungsvarianten abgeleitet und die Entwicklung eines interoperablen virtuellen optimal an die Gegebenheiten angepasst werden.

Mit den beschriebenen Arbeitsschritten und den damit gewonnenen und dokumentierten Erfahrungen steht der Initiierung eines Realisierungskonzepts nichts mehr im Wege. Zur Verbesserung der Ausgangsbedingungen wäre eine Laserbefliegung des Stadtgebietes wünschenswert.

Quellen

- Bezema, R. et al. (2007) Interoperabilität für 3D-Geodaten - Erfahrungen mit CityGML und OGC Web Services. In: J. Strobl; T. Blaschke; G. Griesebner (Hrsg.), Angewandte Geoinformatik 2007 - Beiträge zum 19. AGIT-Symposium Salzburg. Heidelberg: Wichmann.
- Brenner, C. & Haala, N. (2007) Erfassung von 3D Stadtmodellen. http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/2000/Haala_PFG.pdf (26.08.2007)
- Buchholz, H. et al. (2006) Automated Construction of Urban Terrain Models. University of Potsdam and Technical University of Berlin, http://www.hpi.uni-potsdam.de/fileadmin/hpi/FG_Doellner/publication/2006_SDH_buchholz/smarterrain_sdh2006.pdf (25.8.2007)
- Buschmann, E. (1992) Gedanken über die Geodäsie. Bd. 22. Stuttgart: Verlag Konrad Wittwer GmbH
- Carosio, A. (2005) Interoperabilität in GIS - Anforderungen, Strategien, Lösungsansätze. Paper presented at the Interoperabilität für die breite Nutzung von Geoinformation, Zürich, Schweiz 2005.
- Döllner et al. (2005) Smart Buildings - a concept for ad-hoc creation 3D City Models. Paper presented at the 1st Intern. Workshop on Next Generation 3D City Models, Bonn 2005.
- Döllner, J. & Baumann, K. (2005) Geländetexturen als Mittel für die Repräsentation, Exploration und Analyse komplexer räumlicher Informationen in 3D-GIS. In: V. Coors; A. Zipf (Hrsg.), 3D-Geoinformationssysteme, S. 217-230. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG.
- DUDEN (1996) Duden Rechtschreibung der deutschen Sprache. Bd. Band 1. Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: Dudenverlag
- DUDEN (2005) Duden Fremdwörterbuch. Bd. Band 5. Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: Dudenverlag
- Gröger, G., Kolbe, T. H. & Czerwinski, A. (2007) Candidate OpenGIS[®] CityGML Implementation Spezifikation (City Geography Markup Language). Bd. OGC 07-062: Open Geospatial Consortium, Inc. http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=22120.
- Gülch, E. (2005) Erfassung von 3D-Geodaten mit Digitaler Photogrammetrie. In: V. Coors; A. Zipf (Hrsg.), 3D-Geoinformationssysteme, S. 4 - 25. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG.
- Haala, N. (2005) Laserscanning zur dreidimensionalen Erfassung von Stadtgebieten. In: V. Coors; A. Zipf (Hrsg.), 3D-Geoinformationssysteme, S. 26 - 38. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG.
- Jakob, A. (2006) Erstellung einer interoperablen Datenbank für 3D-Stadtmodelle: Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität zu Bonn, Institut für Kartographie & Geoinformation (IKG).
- Kersting/Döllner (2002) Interactive Visualization of 3D Vector Data in GIS. Paper presented at the ACM International Workshop on Advances in Geographic Information Systems ACM GIS 2002, McLean, Virginia 2002.
- Kraus, K. (2004) Photogrammetrie, Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen, Bd. 1, S. 25, 39. Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG.
- Liebich, T. et al. (2006) Anwenderhandbuch Datenaustausch BIM/IFC. München: IAI - Industrieallianz für Interoperabilität e.V.

- Müller, W. (2005) Grundlagen der 3D-Computergrafik. In: V. Coors; A. Zipf (Hrsg.), 3D-Geoinformationssysteme, S. 185-201. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG.
- Müller, W. (2005) Interoperabilität: nicht nur eine Frage der Technologie Paper presented at the Interoperabilität für die breite Nutzung von Geoinformation, Zürich, Schweiz 2005.
- Plümer, L. et al. (2007) 3D-Geodatenbank Berlin Dokumentation V1.0. http://www.3d-stadtmodell-berlin.de/imperia/md/content/3d/dokumentation_3d_geo_db_berlin.pdf (26.08.2007)
- SächsBO (2004) Sächsische Bauordnung vom 28. Mai 2004 http://www.aksachsen.org/fileadmin/Image_Archive/Baurecht/SaechsBauO.pdf, letzter Zugriff: 11. 08. 2007.
- ThürBO (2004) Thüringer Bauordnung vom 16. März 2004 <http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tmbv/staedteundwohnungsbau/bauordnung.pdf>, letzter Zugriff.

Software

| | |
|-----------|---|
| ESRI | ArcView 9.0 mit 3D Analyst |
| 3D Geo | LandXplorer Studio Professional |
| GOOGLE | SketchUp 5 Professional |
| MICROSOFT | XML Notepad 2007 |
| GUTHCAD | CAD2Shape |
| SNOWFLAKE | GO_Loader (testweise, keine Verwendung) |

Datenquellen

Amt für Geoinformation Plauen, Unterer Graben 1, 08523 Plauen

Rossig-Schenk & Partner, Straßberger Straße 2, 08527 Plauen

www.citygml.org