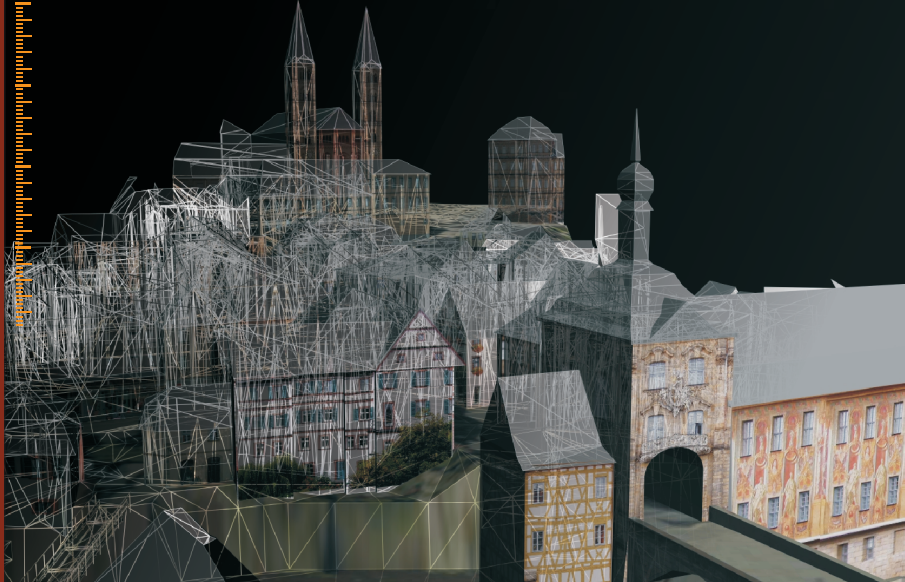


Bamberg^{3D}



Peter Zeile

**Erstellung und Visualisierung von virtuellen 3D- Stadtmodellen
aus kommunalen Geodaten am Beispiel des UNESCO Welterbes
Bamberg**

1	Erstellung und Visualisierung von virtuellen 3D-Stadtmodellen aus kommunalen Geodaten am Beispiel des UNESCO Welterbes Bamberg	3
1.1	Einleitung zu 3D-Stadtmodell – Bamberg	3
1.2	Ziel des Projektes	4
1.3	Ablauf	4
1.3.1	Phase A – Die Theorie	4
1.3.2	Ergebnisse A	4
1.3.3	Phase B – Exemplarische Umsetzung	5
1.3.4	Ergebnis B	5
1.3.5	Phase C – Nutzungsmöglichkeiten und Anwendungsoptimierung	5
1.3.6	Ergebnis Phase C	5
2	Theoretische Grundlagen	6
2.1	Datengrundlagen und Datenerstellung	6
2.1.1	ALB	7
2.1.2	ALK	7
2.1.3	ATKIS	9
2.1.4	ALKIS	10
2.1.5	Katasterkarte	10
2.1.6	Straßenvermessungspunkte	11
2.1.7	Vermessungspunkte der Stadtentwässerung	11
2.1.8	Digitale Flurkarte	11
2.1.9	DGM der Landesvermessungsämter	11
2.1.10	Luftbilder - Orthofotos und Stereoaufnahmen	11
2.1.11	Laserscan	13
2.1.12	Stereoskopie	16
2.1.13	Texturinformation – Fassadenbilder	17
2.2	Detaillierung von 3D-Stadtmodellen	18
2.3	Anwendungsfelder	21
2.3.1	Vermessung	23
2.3.2	Architekturwettbewerbe	23
2.3.3	Stadtentwicklung und Stadtplanung mit Bürgerbeteiligung	24
2.3.4	Immobilienwirtschaft	28
2.3.5	Baufaufnahme im Denkmalschutz, Dokumentation von Kulturgütern	29
2.3.6	Strömungs- und Transportmodelle	31
2.3.7	Gewässerbau	32
2.3.8	Lärmschutz	33
2.3.9	Katastrophenschutz	33
2.3.10	Telekommunikation	35
2.3.11	Tourismus	36
2.3.12	Game- Engines und Echtzeit- Viewer	40
2.3.13	CAM	48

3	UNESCO Weltkulturerbe.....	50
3.1	Bamberg als Weltkulturerbe.....	50
4	Projekttablauf	53
4.1	Datenerhebung / Grundlagenermittlung	53
4.2	Modellbildung	54
4.3	Die Arbeitsabschnitte zur Erstellung des Digitalen 3D-Stadtmodells im Einzelnen.....	54
4.3.1	DGM- Erstellung	57
4.3.2	Gebäude-ID	62
4.3.3	Fassadenbildentzerrung, Bereinigung und Bildarchivierung.....	62
4.3.4	Erstellung der Dachstrukturen.....	63
4.3.5	Modellbildung.....	65
	4.3.5.1 Modellbildung mit WS_LandCAD.....	65
	4.3.5.2 Modellbildung mit ArchiCAD	66
	4.3.5.3 Probleme der beiden methodischen Ansätze.....	68
	4.3.5.4 Modellbildung mit ArchitecturalSpace.....	69
4.3.6	Kacheln und Erstellung einer Datenbankstruktur	70
4.3.7	Texturierung.....	71
4.4	Integration in Echtzeitviewer	72
4.4.1	Irrlicht-Engine.....	72
4.4.2	Quest3D.....	74
5	Ausblick	76
5.1	Weitere benötigte Features.....	76
5.2	UNESCO- Welterbe im digitalen Zeitalter	77
6	Fazit.....	80
	Literaturverzeichnis / WWW-Referenzen	82
	Abbildungsverzeichnis	91
	Tabellenverzeichnis	95
	Glossar derFachbegriffe.....	96

1 Erstellung und Visualisierung von virtuellen 3D-Stadtmodellen aus kommunalen Geodaten am Beispiel des UNESCO Welterbes Bamberg

1.1 Einleitung zu 3D-Stadtmodell – Bamberg

Ausgangspunkt für dieses Projekt war die im Frühjahr 2003 geborene Idee zwischen Vertretern der Stadt Bamberg und der Universität Kaiserslautern, ein Stadtmodell nicht wie bisher physisch in Holz zu bauen, sondern den Aufbau eines virtuellen Stadtmodells anzustreben.

Stadtplanung und Stadtentwicklung sind politische und gesellschaftsorientierte Handlungsfelder, in denen nicht nur die Ergebnisse einer Planung, sondern auch vorangehende Analyse-, Planungs-, Bewertungs- und Entscheidungsprozesse öffentliches Interesse hervorrufen [Luser&Lorber1997]. Vielen Bürgern sind planungstheoretische Abläufe und das damit verbundenen Fachvokabular sowie die Abstraktion der Situation von der dritten Dimension in die planare zweite Dimension schwer verständlich und wenig transparent [Besser & Schildwächter 2000]. Der wesentliche Vorteil eines dreidimensionalen Modells, sei es physisch real oder auch virtuell, ist der, dass die „Modellsprache“ und damit auch der Inhalt gut verständlich gemacht werden kann [Streich 1996].

Kommunikation in der Planung

Trotz der Fortschritte in der Darstellung von Planungsinhalten durch CAD-Einsatz werden noch viele städtebauliche Zielvorstellungen mit Handskizzen oder Strichzeichnungen in Planungsausschüssen diskutiert. In Zeiten des Gameboys oder der Xboxes mit ihrer schon nahezu perfekten Grafik, darf auch der am Planungsprozess Beteiligte, diese ihm gut verständliche Form der Darstellung erwarten. Was bei der Betrachtung von statischen Planungsskizzen eindeutig fehlt, ist die realitätsnahe Anschauung im virtuellen Raum, das von allen Seiten begehbbare Objekt und der spielerische Umgang mit Planungsvarianten [Mitchell 1999].

Im 3D-Modell werden räumliche Zusammenhänge sichtbar, Höhenentwicklungen sind deutlich ablesbar und die Beobachtungsstandorte und Blickperspektiven sind durch eine freie Navigation im virtuellen Modell frei wählbar. Ein 3D-Modell dient also zum einen der räumlich funktionalen Entwurfsübung und zum anderen der besseren Kommunikation zwischen denen an Planung und Ausführung beteiligten Akteuren [Streich 1996].

3D-Modelle in der Planung

Ziel dieses Projektes ist aber nicht nur die alleinige Herstellung eines virtuellen Stadtmodells im dreidimensionalen Raum, sondern vielmehr auch die Beschreibungen der damit verbundenen Fragestellungen, wie in einem optimierten Workflow kostengünstig ein 3D-Modell erstellt werden kann, welche Daten hierzu benötigt werden und wie die bereits vorhandenen kommunalen Daten einem wirtschaftlichen Mehrwert zugeführt werden können. Weiterhin soll untersucht werden, wie städtebauliche Planungen durch 3D-Stadtmodelle vereinfacht bzw. die Kommunikationsabläufe zwischen den einzelnen Akteuren verbessert werden können. Darüberhinaus sollen die Anwendbarkeit und Übertragbarkeit der gewonnenen Daten auch für die Bereiche Autonavigationssysteme, Location Based Services, Tourismus, Standortmarketing bis hin zum Facility Management untersucht werden.

1.2 Ziel des Projektes

Ziel des Projektes soll die prototypische Umsetzung eines 3D-Stadtmodells unter den nachfolgenden Aspekten sein:

Erstellung eines speichervolumensparenden 3D-Modell durch die Transformation kommunaler Planungsdaten wie ALK, ALB, ATKIS, ALKIS, Luftbilder, digitale Höhenmodelle der Landesvermessungsämter und der Datenaufnahmen vor Ort. Beispielhaft sind hier die Höhenaufnahme von Gebäuden, die Erstellung von Bildern für das Fassaden-Mapping und für die Archivierung nach Straßenzügen. Weiterhin interessant ist die Aufnahme von kulturhistorisch besonders bedeutenden Bauwerken mithilfe von terrestrischen Laserscan- Methoden.

Das generierte Modell soll in Varianten auf seine mobile, lokale und Internet-verträgliche Anwendbarkeit untersucht werden und anhand der gewonnen Ergebnisse auf die Bedürfnisse der einzelnen Zielgruppen bzw. Anwenderkreise zugeschnitten werden.

Unabhängig von technischen Lösungswegen soll auch dem visuellen Anspruch genüge getan werden, denn oftmals wird bei den Adressaten der Planung, den Bürgern, schlechte Informationsvermittlung mit schlechtem Inhalt gleich gesetzt und eine minderwertige Präsentation mit minderwertigem Inhalt verglichen. Aufwändige Grafiken werden dagegen als qualitativ hochwertig eingestuft und können durch ihre beim Betrachter ausgelösten positiven Effekte Planungsentscheidungen günstig beeinflussen [[Luser&Lorber1997](#)].

1.3 Ablauf

Das Projekt Bamberg3D ist in 3 Phasen eingeteilt:

1.3.1 Phase A – Die Theorie

Ermittelt werden die theoretischen Grundlagen über 3D-4D-Stadtmodelle, aufgeteilt in die Bereiche Datengrundlagen als Voraussetzung der Datenerstellung zur Modellbildung des virtuellen Modells.

Ein weiterer Punkt der Grundlagenphase ist die Fokussierung auf die Möglichkeit zielgruppenspezifischer potentieller Anwendungsfelder und Einsatzbereiche des 3D-Modells, die Fragen nach dem „was kann ich damit machen“ werden hierbei erörtert.

Abschließend gilt es, sich noch über die einzusetzende Software und Techniken für die Erstellung und Weiterverarbeitung der Daten, das Handling, die Frage der Standard-Definitionen als Grundlage des Datenaustausches zwischen den einzelnen Anwendungen und die Möglichkeit der Datenbankanbindungen in der jeweiligen Applikation Gedanken zu machen.

1.3.2 Ergebnisse A

Ziel dieser ersten Arbeitsphase sind projektspezifisch definierte 3D-Standards, deren Übertragbarkeit im Verlaufe der Arbeit auch auf andere Problemstellungen und Situationen hin überprüft werden müssen. Dadurch wird ein 3D-Stadtmodell-Standard postuliert.

1.3.3 Phase B – Exemplarische Umsetzung

Sie befasst sich mit der exemplarischen Umsetzung des „Bamberg 3D-Modells“.

Grundlagen hierfür sind zum einen die vom Stadtplanungsamt Bamberg zur Verfügung gestellten Geodaten, zum anderen die vor Ort aufgenommene additiven Informationen wie Gebäudehöhen und Fassadenbilder. Nach dieser ersten Phase der Datenerhebung werden mittels Bildbearbeitungs- und CAD-Software erste Kubaturen auf Grundlage der aufgenommenen Höhe und der digitalen Flurkarte erzeugt. Zu den erzeugten Geometrien werden bei diesem Arbeitsschritt zusätzlich noch Metainformationen beigefügt.

Mithilfe von Luftbildaufnahmen, die das Stadtplanungsamt Bamberg zu Verfügung gestellt hat, ist es möglich, mittels stereoskopischer Luftbildauswertung und eingemessenenen Gauss- Krüger- Referenzpunkten, die Dachformen zentimetergenau dreidimensional aufzumessen. Dadurch erhält man zu dem „Klötzchenmodell“ die Information der Dachgestalt.

Die erzeugten Geometrien werden anschließend auf Schnittstellenkompatibilität hinsichtlich Internetanwendungen, Integration in Mobile Devices sowie Implementierung in 3D-Engines überprüft.

1.3.4 Ergebnis B

Primäres Ziel dieser Phase ist die Erstellung des 3D-Stadtmodells als Wireframe-CAD-Datei, die das digitale Höhenmodell, die auf das DGM montierten Gebäudekubaturen sowie die mit den Kubaturen verschnittenen Dächer beinhaltet.

Additiv kommen Metainformationen zu Freizeit, Verkehr, Tourismus etc. hinzu. Auf der Grundlage dieses Rohmodells wird anschließend untersucht, in wieweit das erzeugte Wireframe in der Praxis tatsächlich mit den in Phase A ermittelten Applikationen und Austauschformaten konform ist.

1.3.5 Phase C – Nutzungsmöglichkeiten und Anwendungsoptimierung

Die in Phase B erzeugten Ergebnisse werden auf Integration zur Generierung von schlanken, speicherplatzschonenden Modellen hin untersucht und optimiert. Mögliche Aspekte sind andere Archivierungsformen, Speichermodelle oder die interne Organisation der erzeugten Modelle.

Diese Grundlagen dienen der Untersuchung der Interaktion bzw. Integration des Modells in mobile Clients oder der Online-Publizierung des virtuellen 3D-Modells-Bamberg.

1.3.6 Ergebnis Phase C

Auf den Grundlagen der gewonnenen Erkenntnisse sollen Regeln aufgestellt werden, die es erleichtern, anhand von Stadtstrukturen und bereits vorhandener Datengrundlagen, schnell, einfach und kostengünstig ein 3D-Modell einer Stadt zu erzeugen. Diese Stadtypologien verstehen sich als „Quasistandards“ für den Workflow zur Erstellung eines 3D-Modells.

Außerdem werden Aussagen getroffen zu den Fragestellungen der Anwendbarkeit und Integration in (3D-)Datenbanken sowie zu den Einsatzbereichen der mobilen Clients.

2 Theoretische Grundlagen

Vor der eingehenden Befassung mit dieser Materie, ist es sinnvoll, eine Definition für 3D-Stadtmodelle zu erörtern:

Definition 3D-Stadtmodell

Unter einem digitalen 3D-Stadtmodell ist ein dreidimensionales Computermodell einer Stadt zu verstehen. In diesem Modell sollen die einzelnen Objekte der Stadt möglichst realitätsnah abgebildet werden. Zu jedem Objekt werden Informationen gespeichert, die für eine gesicherte räumliche Rekonstruktion erforderlich sind [Lorber 1996].

Aufgeteilt sind die Grundlagen in drei Abschnitte:

1. Informationen zu den Ausgangsdaten, aus denen ein 3D-Modell erstellt werden kann und der Erörterung, wie die Daten idealerweise vorliegen müssten.

2. Diskussion über mögliche Einsatzfelder des zu erstellenden 3D-Modells, welche Zielgruppen welche Art von Modell brauchen und welche Standards für welchen Einsatzbereich vonnöten sind.

3. Festlegung der technischen Komponenten und Methoden mit deren Hilfe die konfektionierten Lösungen umgesetzt werden können.

Anforderungen

Bei der Beurteilung der Wertigkeit vorhandener Daten muss immer im Hintergrund die Vorgabe stehen, dass ein zu erzeugendes 3D-Modell folgende Ansprüche erfüllt:

- Genauigkeit
- Einfache Erstellung aus vorhandenen Daten
- Modifizierbarkeit
- Möglichkeit der raschen Aktualisierung des erzeugten Modells
- Kostengünstige Finanzierbarkeit
- Offene Datenschnittstellen und Kompatibilität mit gängigen Softwareapplikationen

Weiterhin sollte das erstellte „Rohmodell“ auch folgende Möglichkeiten bieten:

- Modifizierbarkeit des Detaillierungsgrades
- Anbindung an Datenbanken
- Integration in Webbrowser
- Integration in Mobile Clients
- Integration von Laserscandaten

2.1 Datengrundlagen und Datenerstellung

Für die problemlose Erstellung eines 3D-Stadtmodell sollten idealerweise folgende Daten in bestimmten Formaten vorliegen:

Ideale Datenbasis

Ein digitales Grundmodell (DGM) der Stadt, aufgenommen in einer möglichst engmaschigen Rasterweite. Da diese Daten von den Landesvermessungsämtern standardisiert aufgenommen werden, kann das vom Landesvermessungsamt bereit gestellte DGM (DLM) nur im Außenbereich verwendet werden. Für den bebauten Bereich kann dagegen nicht unterschieden werden,

ob der gemessene Punkt auf der für das 3D-Modell wichtigen Straßenoberfläche liegt oder ob ein Dachfläche eingemessen wurde. Das Modell sollte entweder als TIN-Datei im DXF-Format oder als ASCII-Punktwolke zur Weiterverarbeitung in einem Landmodeller vorliegen.

Weiterhin wird das Straßennetz idealerweise als 3D-Polylinien im DXF-Format benötigt, um weitere x,y,z-Koordinaten zur Verdichtung des digitalen Höhenmodells (DGM) zu Verfügung zu haben.

Die Baukörper sollten als 3D-WireFrame-Modell vorliegen, je nach Level of Detail (LOD), als Kubatur der Baukörper oder als Kubatur mit Dachform. Idealerweise sollten im Wire-Frame-Modell alle Flächen als doppelseitige 3D-Faces vorhanden sein, um das Problem des Backface-Culling zu umgehen,

Deutschlandweit liegen nach derzeitigen Erkenntnissen diese Daten komplett gar nicht und in Teilbereichen nur bruchstückhaft vor. Teillösungen, wie das z.B. in Stuttgart vorliegende 3D-Modell der Stadtvermessung, müssen grundsätzlich auf ihre generelle Anwendbarkeit und die Datentransformation und –migration hin überprüft werden.

Nachfolgend werden deshalb im kommunalen Einsatz befindliche (Geo)-daten auf die Verwendbarkeit zur Erstellung des 3D-Stadmodells hin untersucht.

2.1.1 ALB

Abkürzung für „Automatisiertes Liegenschaftsbuch“

Enthält die beschreibenden Angaben zu jedem Flurstück: Flurstücksnummer und Eigentümer in Übereinstimmung mit dem Grundbuch, Flächengrößen, Straßennamen sowie Hausnummern, öffentlich-rechtliche Festlegungen wie z.B. Natur- und Wasserschutzgebiete, Altlasten und vieles mehr [[Glossar.de 2003](#)].

Definition

Die Bodenfläche der Länder in Deutschland ist politisch in Landkreise, kreisfreie Städte sowie Gemeinden und katastermäßig in Gemarkungen, Flure sowie in Flurstücke geteilt.

Das ALB ist ein Auskunftssystem für Kataster- und Vermessungsämter, das die Daten entweder analog oder digital ausgibt. Durch die Datenschutzbestimmungen in Deutschland ist die Benutzung des ALB eingeschränkt. Es dürfen nur Personen mit einem berechtigtem Interesse, also Eigentümer, Erbbauberechtigte, Nutzungsberechtigte und deren Beauftragte, das ALB einsehen und Auszüge über die sie betreffenden Liegenschaften anfordern [[LVermA MV 2003](#)].

Inhalte

Die Anbindung der ALB- Daten in das 3D-Stadtmodell ist im wesentlichen aus datenschutzrechtlichen Bestimmungen derzeit nicht vorgesehen, da das erzeugte Modell einer möglichst großen Benutzergruppe zugänglich gemacht werden soll.

2.1.2 ALK

Abkürzung für „Automatisierte Liegenschaftskarte“

Enthält grundsätzlich alle Informationen der analogen Liegenschafts-(Kataster-) Karte, jedoch mit wesentlich mehr Komfort und höherer Genauigkeit. Die Informationen sind in Objekte strukturiert und in verschiedenen Ebenen abgelegt; so kann z.B. auf Flurstücke, Gebäude und Nutzungsarten gezielt zugegriffen werden [[Glossar.de 2003](#)].

Definition

Das Verfahren zur Aufstellung des ALK-Systems wurde von der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) in Zusammenarbeit mit kommunalen Spitzenverbänden entwickelt und stellt eine bundesweit einheitliche Verfahrenslösung dar.

Kennzeichnend für die ALK- Karte ist zum einem, dass die Daten in einem einheitlichem Bezugssystem, dem Gauss- Krüger- Meridianstreifensystem, vorliegen, und zum anderen, dass sie aufgrund der Aufnahme und Pflege von Behördenseite amtlich verifiziert ist und ständig aktualisiert wird.

In einer Geodatenbank werden die ALK-Karten blattschnitt- und maßstabsfrei abgelegt. Über die EDBS-Schnittstelle (Einheitliche Datenbankschnittstelle) können die Karten in beliebigen Ausschnitten abgerufen werden, so dass je nach Anwendungsbereich ein sinnvoller Maßstab gewählt werden kann [IM Schleswig-Holstein 2000].

Inhaltliche Analogie zur amtlichen Karte

Analog zur amtlichen Flurkarte sind die gleichen Inhalte in der ALK vorhanden, allerdings sind diese logisch neu nach Layern und Objekten geordnet. Auf den Layern (Folien) befinden sich die jeweiligen Attribute eines geografisch abgegrenzten Bereichs. Als Beispiel sind hier als Grundinformation die Topografie, Flurstücke, politische Grenzen, Nutzungen, Gebäude und Versorgungsinformationen und zu nennen.

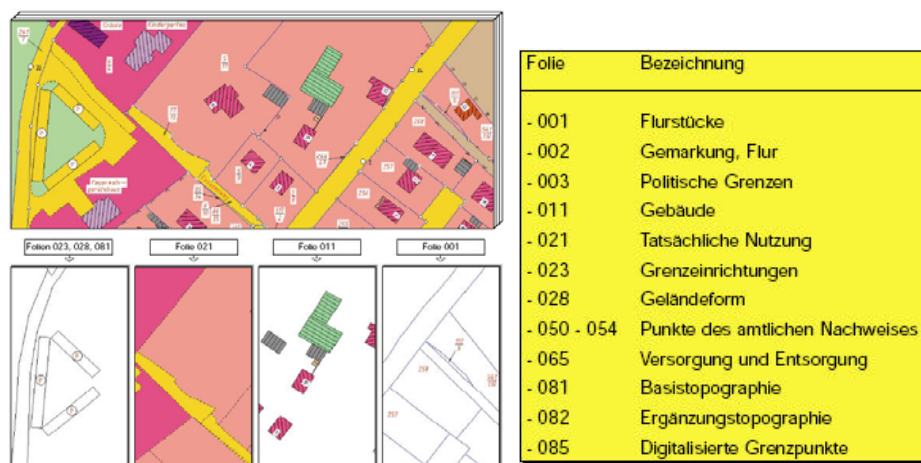


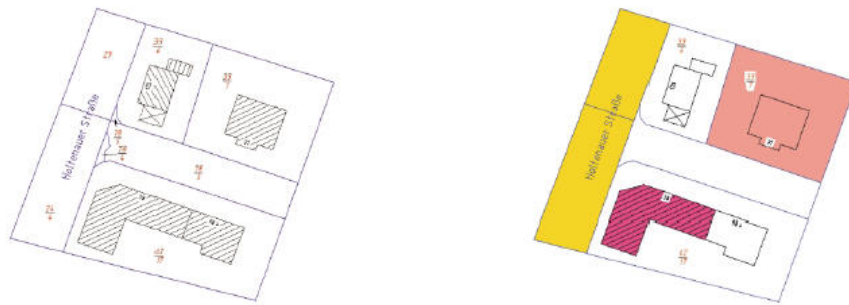
Abbildung 1: ALK-Layerstruktur [Innenministerium Schleswig Holstein 2000]

Auf den einzelnen Layern liegen als zweiter großer Hauptbestandteil der ALK-Karte die Objekte.

Durch die Art der ALK-Datenerfassung werden Punkte, Linien, Flächen und Texte in einen Zusammenhang gebracht und zu einem Objekt zusammengefasst. Dadurch kann ein Objekt zum Beispiel als Ganzes durch eine Flächenschraffur hervorgehoben werden. Einzelne Bestandteile sind aber natürlich auch gesondert ansprechbar.

Eine Objektklassifizierung sind die Fachbedeutungen: Durch sie und den eindeutigen Objektschlüssel sind die Bestandteile eindeutig identifizierbar.

Durch Fachkennzeichnungen können zu den einzelnen Objekten weitere Informationen aus Fachdatenbanken bezogen werden, da diese in der ALK schon mit ihrem Identitätskennzeichen, z.B. Hausnummern, versehen sind.



Inhalte der ALK, dargestellt wie in der herkömmlichen Flurkarte

Das wird durch ALK möglich:
 - bestimmte Objekte wurden von der Darstellung ausgeschlossen, z.B. Flurstücke in Verkehrswagen
 - ausgewählte Objekte wurden besonders hervorgehoben, z.B. Straße-Wohngebäude-Nutzungsfische

Abbildung 2: Klassische Katasterdarstellung und mithilfe von Objektattributen reduzierbare Darstellung [IM Schleswig Holstein 2000]

Für das 3D-Stadtmodell Bamberg wird als Grundlage auch die ALK benutzt, in Bayern digitale Flurkarte (DFK) benannt. Zur eindeutigen Identifizierung der Gebäude und Strassen im erstellten Wire- Frame- Modell wird jedem Objekt, sprich Strassen und Gebäuden, eine eindeutige, zwölfstellige ID zugewiesen, die sich aus Gemarkungsschlüssel (2109), Straßenschlüssel (vierstellige Ziffer) und bei Gebäuden noch die Hausnummer zusammensetzt. Dadurch können diese Objekte auch deutschlandweit eindeutig identifiziert werden.

2.1.3 ATKIS

Abkürzung für „Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem“

Enthält in einem digitalen Landschaftsmodell die wesentlichen topographischen Objekte (so z.B. Siedlungsflächen verschiedener Nutzung, Bauwerke, Straßen-, Schienen-, Flug- und Schiffsverkehr, Vegetationsflächen, Gewässer, geographische und politische Grenzen) [Glossar.de 2003].

Definition

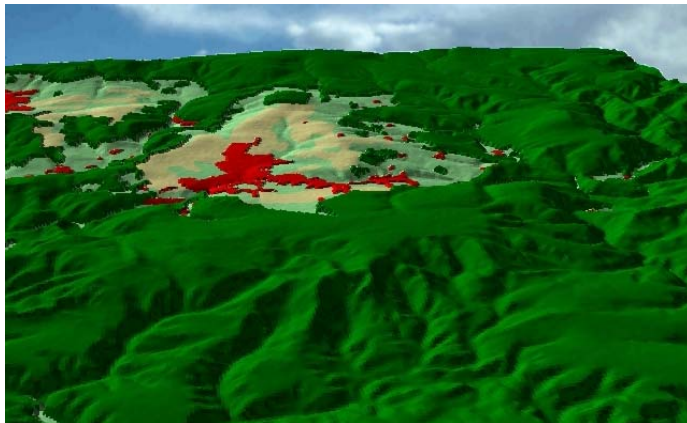


Abbildung 3: 3D-Visualisierung der ATKIS- Daten der Gemeinde Hinterhermsdorf mit ArcView [Roth 2000]

Aus dem ATKIS- Datenbestand ist nur das Digitale Höhenmodell für Bamberg vorhanden. Problematisch hierbei sind die schon oben beschriebenen negativen

Eigenschaften der Datenaufnahme für ein exaktes dreidimensionales Grundmodell.

2.1.4 ALKIS

Definition

ALKIS ist ein Modell zur Zusammenführung von ALB und ALK in ein einheitliches Datenmodell in Analogie zu ATKIS [*Geoinformatik Lexikon 2003*] und steht als Abkürzung für Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem. Kurz gesagt, beschreibt das ALKIS-Modell inhaltlich die reale Welt aus der Sicht des Liegenschaftskatasters [*Hartmann, Seuß, Zimmermann 1999*].

Zusammenführung von ALK und ALB

Grundlage für diese Zusammenführung ist die Tatsache, dass das Liegenschaftskataster nach Graphikinformationen im ALK und Sachinformationen im ALB getrennt geführt wird. Beide Systeme, ALK und ALB, liegen derzeit in spezifischen Datenmodellen vor. Die Integration beider Systeme ist technisch ohne Probleme zu bewerkstelligen, so dass diese getrennte Datenhaltung nicht mehr zeitgemäß ist. Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass z.B. Flurstücksinformationen zu ca. 75 % im ALB redundant zu der ALK gespeichert werden. Aufgrund dieser Tatsachen und der fehlenden Abstimmung für Landschaftselemente und -Modellierung des ATKIS ergab sich der Handlungszwang zur Erstellung des ALKIS-Systems.

Da der Ansatz des ALKIS-Systems relativ neu ist und die Umsetzung in vielen Gemeinden, wenn überhaupt, nur modellhaft durchgeführt wird, eignen sich ALKIS-Daten primär nicht für die Herstellung des 3D-Stadtmodells, allein schon wegen der nicht geklärten Datenschutzbestimmungen und auch wegen der noch nicht gelösten Datenmigration.

2.1.5 Katasterkarte

Definition

Die Katasterkarte ist eine großmaßstabige Karte, die Ergebnisse der Katasteraufnahme enthält wie Grenzen von Flurstücken, Gebäuden und Nutzungsarten, Flurstücksnummern, Ergebnisse der Bodenschätzung und vieles mehr. Diese Karten sind für den Grundbuchnachweis maßgebend [*Geoinformatik Lexikon 2003*]. Sie ist die analoge Grundlage des ALK-Systems.

Die Katasterkarte ist wie in allen größeren Städten in Deutschland in das ALK übertragen worden und wird dementsprechend aus dem ALK-Datenbestand für das Projekt benutzt.

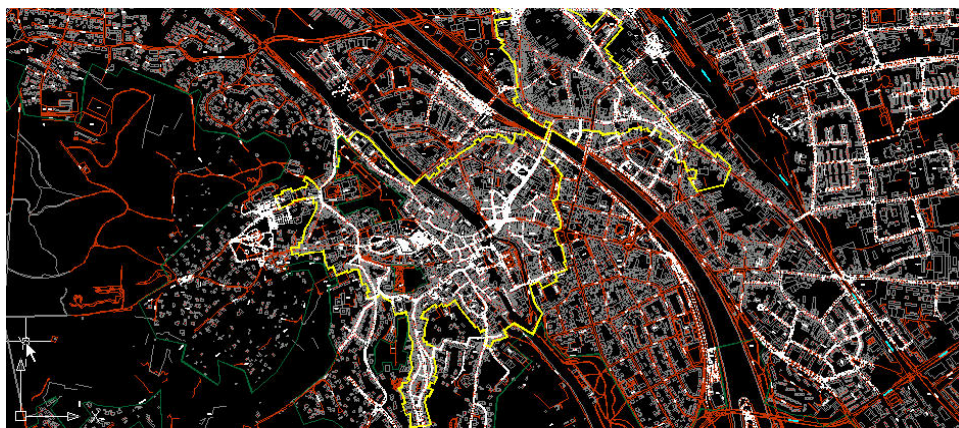


Abbildung 4: Aus Katasterkarte Bamberg erzeugter ALK/DFK Datenbestand, gelb eingezeichnet Weltkulturerbebereich [Eigene Darstellung]

2.1.6 Straßenvermessungspunkte

Ein weiterer Datensatz ist die vom Stadtplanungsamt Bamberg angelegte Punktwolke der Straßenbegrenzungslinien in der Lage x , y , z . Nachteilig ist allerdings, dass die Punkte nicht als 3D-Polylinien verbunden wurden und dadurch auch nicht als geschlossenes Polygon einen eigenen Straßenschlüssel zugewiesen bekommen haben.

Als Grundlage für ein digitales Geländemodell im bebauten Bereich sind diese Punkte die wichtigste Grundlage. Sie genügen jedoch für die komplette DGM-Erstellung aufgrund der spärlichen Punktdichte und der inkompletten Erfassung von Messpunkten über das Stadtgebiet.

Grundlage für DGM-Erstellung

Deshalb müssen in einem weiteren Arbeitsschritt zur genauen und fehlerfreien Triangulierung, der Vernetzung der aufgemessenen Punkte zu einem dreidimensionalen Modell, bei Erstellung des digitalen Grundmodells zusätzliche Punkte ermittelt werden. Dies kann zum einen per Hand auf der Grundlage der vorhandenen Punkte durchgeführt werden und zum anderen durch stereoskopische Auswertung der Luftbilder. Die Luftbildauswertung liefert die wesentlich exakteren Daten und ist der händischen Eingabe vorzuziehen.

2.1.7 Vermessungspunkte der Stadtentwässerung

Die Vermessungspunkte der Stadtentwässerung sind in x , y und z vermessen. Nachteilig ist, dass diese Punkte nur als 2D-Punkte in einer CAD-Datei vorliegen; die Höhenangabe ist den Punkten als Attribut zugewiesen, müsste aber jedem Punkt von Hand zugeordnet werden.

2.1.8 Digitale Flurkarte

Die digitale Flurkarte ist der in Bayern mit dem ALK gleichzusetzende Datenbestand.

2.1.9 DGM der Landesvermessungsämter

Das DGM ist Bestandteil des ATKIS-Datensatzes. Aus diesem wird das DGM für den unbebauten Außenbereich für das 3D-Modell Bamberg verwendet.

2.1.10 Luftbilder - Orthofotos und Stereoaufnahmen

Luftbilder sind fotografische Senkrechtaufnahmen der Erdoberfläche in sehr hoher Auflösung. Durch speziell geeichte und großformatige Reihemessbildkameras wird so ein fotografisches Aufsichtsabbild der Landschaft erstellt. Sofern Luftbilder entzerrt sind und somit jeder Punkt senkrecht projiziert ist, spricht man von „True- Ortho- Fotos“. Luftbilder beinhalten eine Fülle von geografischen Informationen und stellen dadurch eine qualitativ hochwertige und wertvolle Quelle zur Planung z.B. in den Bereichen Straßenbau, Landwirt- und Forstwirtschaft, Altlastenermittlung, Ermittlung der Topografie sowie zur Dokumentation und Erforschung eines Planungsraums dar [[Geodaten.Bayern 2003](#)].

Definition

Um aus Luftbildern mittels Stereoauswertung dreidimensional definierte Punkte auswerten zu können, benötigt man nicht die oben beschriebenen True-Ortho-Fotos, sondern im günstigsten Fall Stereoaufnahmen oder zumindest Luftbilder mit einem Überlappungsbereich von mindestens 50%. Die benutzte Technik wird im Kapitel [Stereoskopie](#) näher erläutert. Je nach Aufnahmedichte und Zielformulierung können aus den Luftbildern Daten für die Erstellung eines

3D-Punkte aus Luftbildern

digitalen Höhenmodells (DGM) der Landschaft oder Eckpunkte für die Erstellung von Baukubaturen erhalten werden.

Weiterhin bieten Luftbilder die Möglichkeit, Dachtexturen abzuleiten und diese auf die später generierten Dachgeometrien zu mappen. Das gesamte Luftbild kann auch dazu benutzt werden, um Texturen für das DGM herzuleiten.

**Auswertung und
Qualität**

Grundsätzlich muss erwähnt werden, dass es verschiedenste Qualitäten von Luftbildern gibt, da unterschiedliche Einflüsse die Auswertung erschweren. Oftmals herrschen nicht die gleichen Lichtverhältnisse vor, Schattenwürfe oder Bäume können Kanten verdecken oder Lichtreflexionen auf glatten Oberflächen irritieren die Auswertung. Zusätzlich erschwerend kann die physikalische Qualität des Luftbildes sein; die Parameter Körnung, Kontrast und Bildrauschen bestimmen auch hier die Qualität der Auswertung und somit des Endergebnisses.

Insgesamt sind die in Luftbildern enthaltenen Informationen unverzichtbar für eine qualitativ hochwertige Auswertung. Deshalb muss schon im Vorfeld einer Untersuchung abgeklärt werden, ob eine ausreichende Qualität der Luftbilder vorliegt.



Abbildung 5: Luftbild mit Ausschnitt des Weltkulturerbegräns Bamberg. Gut zu erkennen sind neben Vegetation, Bauwerken, Strassen und Gewässern auch die durch den Sonnenstand verschatteten Gebäudeteile [*Stadtplanungsamt Bamberg 2003*]

2.1.11 Laserscan

3D-Scanning ist ein Verfahren zur berührungslosen Erfassung der Form dreidimensionaler Körper.

Die Bedeutung des Laserscannings hat in den vergangenen Jahren erheblich zugenommen. Anfängen von der Aufnahme von Artefakten im Zentimeter-

Definition und Bedeutung

Bereich, über kulturhistorisch besonders wertvolle und bedeutende Skulpturen, der Aufnahme von gebauten Objekten wie Baudenkmalern oder auch Industrieanlagen, bis hin zur topografischen Erfassung von Gelände­flächen, lässt diese neue Technik weitere ungeahnte Möglichkeiten vermuten.

3D-Punktwolken

Im Gegensatz zur Fotogrammetrie kann man mittels eines Laserscanners in kurzer Zeit eine große Menge dreidimensionaler Punkte von Objektoberflächen aufnehmen. Als Ergebnis erhält man eine digitale Punktwolke, die entweder solitär in ein CAD-Programm in eingelesen werden kann, oder man erhält durch Triangulation der Punkte ein 3D-Volumenkörper, der in Rendering- oder CAD-Programmen weiterverarbeitet werden kann.



Abbildung 6:Links konventionelle Objektaufnahme mit Definition der Vektoren über die Eckpunkte der Gebäude. Rechts Laserscanaufnahme derselben Objekte. Zur Vektorendefinition müssen überflüssige Messpunkte manuell entfernt werden [Eigene Darstellung]

Durch additive Bildinformation kann mithilfe von Oberflächentexturierung ein der Wirklichkeit entsprechendes Modell aufgenommen werden [i3Mainz 2003].

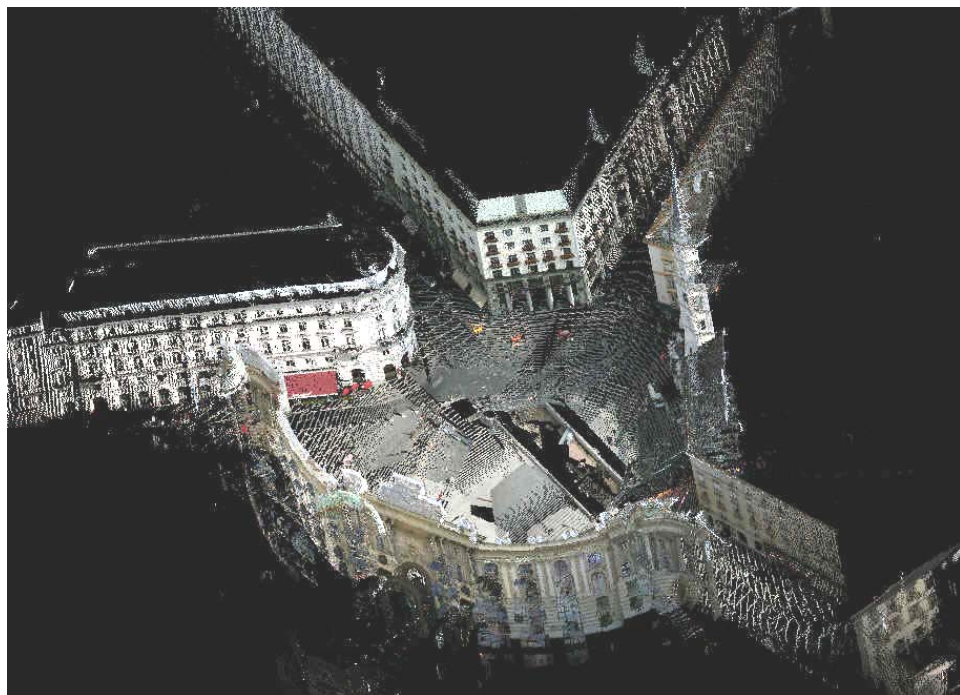


Abbildung 7:Laserscan des Michaelerplatzes in Wien. Die Farbinformation des Goldmann & Salatsch Hauses von Adolf Loos die Farbinformation der Wiener Hofburg sind gut zu erkennen. Jeder Farbpunkt repräsentiert einen in x,y,z georeferenzierten Scanpunkt [Forkert 2004]

Zeitaufwand vs Zielvorgaben

Das eigentliche Scannen des Objektes verursacht bei dieser Methode der Bauaufnahme den geringsten Teil der Arbeit. Dagegen beansprucht die

Weiterverarbeitung der entstandenen Punktwolke zu einem 3D-Volumenmodell je nach Aufgabenstellung einen fünf- bis zehnmal höheren Zeitaufwand [Marbs 2003].

Durch den hohen Ressourceneinsatz und den nicht zu unterschätzenden Zeitaufwand ist der generelle Einsatz von Laserscannern für 3D-Stadtmodelle nicht ratsam. Nur für einzelne bauhistorisch besonders wertvolle Objekte lässt sich der Einsatz aus konservatorischer Sicht rechtfertigen. Ein ganzes Stadtmodell mit dieser Methode zu bearbeiten scheitert derzeit noch an der Tatsache übergroßer Datenmengen, die aktuell in diesem Ausmaß nicht verarbeitet werden können.



Abbildung 8: Scan der Technischen Universität Kaiserslautern, Bau 1, Eingangsbereich [Eigene Darstellung, mit Unterstützung der Firma Innovative Systems, Hamburg]

Auch für wichtige Landmarken im Stadtgebiet ist der Einsatz von Laserscannern nur bedingt zu gebrauchen, da hier nicht auf der vollständigen Aufnahme des Objektes das Hauptaugenmerk liegt, sondern primär auf der Wiedererkennbarkeit im Stadtkörper, die auch mittels abstrahierter Darstellung erreicht werden kann.

Ein besonderes Laserscanverfahren analog zur Luftbildüberflieger stellt der Airborne Laserscan dar, der auch als LIDAR- Verfahren bekannt ist. Hierbei handelt es sich um eine flugzeuggestützte Laserscannermessung, die durch einen weitgehend automatisierten Messablauf, eine vollständig digitale Datenaufzeichnung und eine computerbasierte Auswertung gekennzeichnet ist. Hauptbestandteil des Systems ist ein sogenanntes Multisensorsystem mit den Komponenten eines Laserdistanzmessers mit Scanvorrichtung, eines GPS-Empfängers zur Georeferenzierung und einem eigenen Navigationssystem, dem INS (Inertiales Navigations System) [TopScan 2003].

Airborne Laserscan

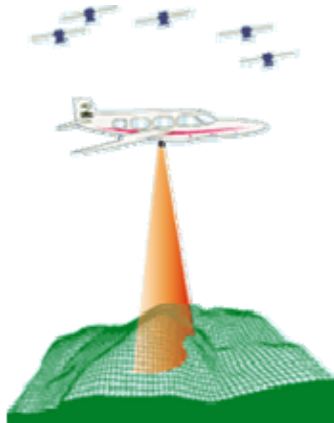


Abbildung 9: Airborne Laserscan über unebenen Gelände [TopScan 2003]

2.1.12 Stereoskopie

Definition

Die als Stereoskopie bekannte Technik ist ein Verfahren zur Aufnahme und Wiedergabe raumgetreuer Bilder. Die Bedeutung des griechischen Wortstammes „Stereo“ ist räumlich oder körperlich. Schon Euklid befasste sich im 4. Jh. v. Chr. mit der Stereometrie und konnte den Zusammenhang zwischen Stereohalbbildern und räumlichem Sehen zumindest theoretisch belegen.

Funktionsprinzip

Das Prinzip der heutigen Stereoskopie entwickelte 1838 der britische Naturwissenschaftler Sir Charles Wheatstone (1802-1875). In seinen Schriften veröffentlichte er zeichnerisch berechnete Stereobildpaare, die mit einer von ihm entwickelten Apparatur betrachtet werden konnten. Das Grundprinzip des noch heute verwendeten Stereoskops ist die Betrachtung von durch Spiegel umgelenkten Halbbildern, die im Gehirn einen 3dimensionalen Eindruck erwecken [Stereoskopie 2003].

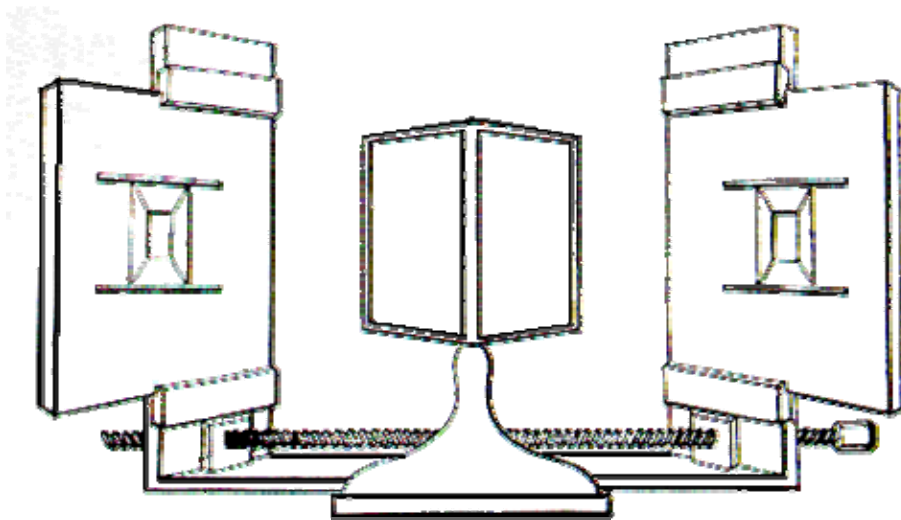


Abbildung 10: erstes Spiegel-Stereoskop von Charles Wheatstone 1838 [Stereoskopie.de]

Luftbilder werden dreidimensional

Zur stereoskopischen Auswertung wurde das Planicomp P3 von Zeiss benutzt. Mit diesem Gerät können Luftbilder aus Überfliegungen stereoskopisch

dargestellt werden, sofern die Luftbilder in hochwertiger Qualität aus verschiedenen Winkeln mit einem großen Überlappungsbereich aufgenommen wurden und keine reinen Orthofotos sind. Nur dann kann das Prinzip der Stereoskopie erfolgreich angewendet werden.

In das Gerät werden zwei sich überlappende, schräg aufgenommene Luftbilder eingelegt und mithilfe von Vermessungspunkten, bevorzugt die von Kanaldeckeln wegen der freien Sichtbarkeit, georeferenziert. Mittels eines vom Gerät erzeugten Lichtpunktes können Raumkanten oder -punkte dreidimensional exakt eingemessen und über Schnittstellen direkt in eine AutoCAD-Datei eingelesen werden. Endergebnis ist eine im DXF-Format vorliegende Punkt- bzw. Polygondatei.

Diese Vorgehensweise wird im vorliegenden Projekt zur Einmessung der Dachformen verwendet. Weiterhin werden mit dieser Methode fehlende Geländepunkte zur Erzeugung des DGM's generiert.

Problematisch an dieser Technik ist die ungenügende freie Sichtbarkeit auf die aufzunehmenden Punkte im Raum, denn je nach Sonnenstand sind Gebäudekanten verschattet oder aufgrund der Vegetation gar nicht sichtbar. Nachteilig wirkt sich auch die Tatsache aus, dass die Auswertung rein optisch erfolgt.

Probleme bei der Aufnahme

Mit neueren Systemen kann eine verbesserte Auswertung auch auf stereoskopischen TFT-Monitoren erfolgen [vgl. hierzu www.stereoskopie.de/methoden.htm], sodass Personen, die Schwierigkeiten mit dem räumlichen Sehen haben, sofern ihre Blickachsen nicht genau vertikal zur Bildachse liegen, die Bilder dennoch deuten können. Weiterhin ermüden mit dieser neuen Methode die Augen nicht so sehr und ermöglichen somit ein längeres und effektiveres Arbeiten. Entscheidende Vorteile dieser Technik sind die im 1cm-Bereich exakt erhobenen Daten, die auch an im Gelände sehr schwer zugänglichen Punkten aufgenommen werden können, sowie die Tatsache, dass theoretisch ein ganzes Stadtgebiet ohne aufwändigen Vermessungstrupp vor Ort aufgemessen werden kann.

Vorteile

2.1.13 Texturinformation – Fassadenbilder

Stadtmodelle wirken nicht nur durch die sauber aufgenommenen Gebäudegeometrien. Laien oder in architektonischen Sehgewohnheiten schlecht trainierte Menschen vermögen sich oftmals in reinen Geometriemodellen schwer zu recht zu finden.

Für eine wirklichkeitsgetreue Darstellung und eine intuitive Orientierung im 3D-Stadtmodell werden Bilder – so genannte Texturen – einzelner Gebäudebestandteile benötigt. Als Textur bezeichnet man ein digitales Bild, das auf die Oberfläche einer Geometrie projiziert wird [Forberg 2000]. Dabei wird eine synthetische Textur unter Anwendung eines generalisierten Musters oder einer Farbabstraktion von einem Texturmapping mit perspektivisch entzerrten Fotos unterschieden. Gleichzeitig muss streng darauf geachtet werden, dass die Aufnahme orthogonal ausgerichtet ist, da sonst durch viel manuelle Arbeit die Fotos aufwändig entzerrt werden müssen. Wesentlicher Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass kleine Bauteile des Originalobjektes nicht modelliert werden müssen und doch sichtbar dargestellt werden können.

Definition Textur

Mittlerweile gelingt es, Fassadenfotos vollautomatisch aufzunehmen. Durch ein auf ein Fahrzeug montiertes, multisensorales Aufnahmesystem können kurzfristig ganze Straßenzüge vermessen, archiviert und texturiert werden. Der

Vollautomatische Aufnahmesysteme

so genannte „CityScanner“, implementiert in das „CityGrid“- Konzept, bewerkstelligt diese Aufgaben [Forkert & Holzer 2003 u. Holzer et al 2002]: Die digitale Kamera, ausgestattet mit CCD-Sensoren und ein Laserscanner, nehmen in einer Höhe von ca. 4m oberhalb der Straßenebene parallel zur aufzunehmenden Fassade mit einem Stop-and-go Aufnahmezyklus Stereobilder und Punktwolken der Fassaden auf. Die erzeugten Punktwolken, die geometrischen Informationen sowie die Texturen werden danach in einer Datenbank abgelegt. Durch die Mehrfachaufnahme der Fassaden von verschiedenen Punkten aus können Störinformationen wie Vegetationen oder Fahrzeuge separiert werden.

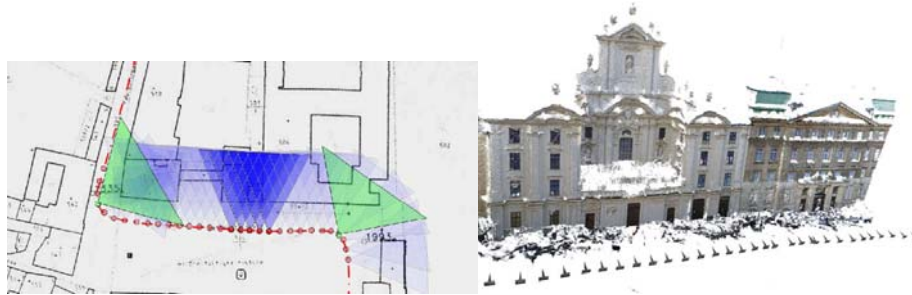


Abbildung 11: Aufnahmeort des CityScanner und die daraus erstellte 3D-Vektorzeichnung mit Textur [Forkert & Holzer 2003]

2.2 Detaillierung von 3D-Stadtmodellen

Für die Erstellung dreidimensionaler Stadtmodelle ist es wichtig, im Vorhinein genaue und zielgerichtete Einsatzfelder zu definieren. Ohne diese Einteilung nach Bezugsgrößen wie Maßstab, Punktgenauigkeit und Ausformulierung der Dachstruktur, unterlaufen im Vorfeld oftmals falsche wie auch sehr kostenintensive Vorarbeiten, die dem originären Einsatzziel widersprechen.

Verständnis von Level of Detail (LOD)

Deshalb bedient man sich im Kontext der Ausgestaltung von 3D-Stadtmodellen des Levels of Detail (LOD), übersetzt den Detailstufen und klassifiziert „die verschiedenen Detailstufen bei der Darstellung virtueller Welten“ [Academius 2003]. Er reicht von Regionalmodellen bis hin zu Innenraummodellen einzelner Objekte. Eine eindeutige Definition des LOD's besteht allerdings momentan noch nicht. Eine Version der Logik sieht die LOD-Stufen LOD 0 – LOD 4 vor, angefangen vom reinen Kubaturmodell LOD 0 bis hin zu Innenraum-detaillierungen LOD 4 [Academius 2003], andere Systeme drehen diese Logik einfach um, LOD 0 beschreibt hier den höchsten Detaillierungsgrad.

LOD in der Informatik

In der Informatik hat sich eine ähnliche Auffassung zum Level of Detail eingebürgert: Darunter versteht man die allgemeine Verarbeitung von Objekten mit verschiedenen Detailstufen, die durch vordefinierte Parameter zum Einsatz kommen. Im Gegensatz zur Definition des LOD bei Stadtmodellen besteht hierbei die vordergründige Idee darin, dass für visuell unwichtigere Objekte eine gröbere Detailstufe, vorgesehen wird, mit dem Vorteil Darstellungsgeschwindigkeiten zu erhöhen, ohne jedoch den Gesamteindruck des Modells zu verändern. Techniken hierfür sind entweder die Anwendung des *Geometric Level of Detail* [Troger 99], oder des *Animated Smooth Level of Detail* [Woo et al 2003], bei der die Texturen in Form von *mipmaps* je nach Entfernung des Betrachters unterschiedliche Auflösungen besitzen oder des *Adaptive Level of Details* [Xia et al], die je nach Betrachtungsstandort zusätzliche Techniken wie

Local Illumination, *Visibility Culling* oder *Silhouette Boundaries* einsetzen. Hintergrund hierfür sind die hohen Mengen an benötigten 3D-Grafikdaten, die bei der leistungsschwachen Hardware intelligentere Darstellungsmöglichkeiten benötigt; vergleiche hierzu auch den VRML 2.0 Standard [*Web3D* und *Müller-Seelisch* 1997].

Hauptprobleme bei der Umsetzung und Akzeptanz von 3D-Stadtmodellen in der kommunalen Planungspraxis sind fehlende Standards zur Erstellung der Modelle, der nachfolgenden Editierung, wie auch zur besseren Integration von Datenbanken und einer einheitlichen LOD- Klassifizierung. Deshalb hat die „Initiative Geodaten Struktur NRW“, GDI, eine Special Interest Group 3D, die SIG3D, gegründet, die sich mit den Fragestellungen: Modellierung, Speicherung, Erstellung, Nutzung, Visualisierung und Vermarktung von 3D-Stadt- und Regionalmodellen beschäftigt [vgl. *SIG3D*].

SIG3D

Analog zu der zwar erst in der Aufstellung befindlichen Quasi-Standard LOD-Definition der SIG3D wird das nachfolgend beschriebene LOD-Modell auch bei dem Projekt „Bamberg 3D“ verwendet: Jedes Objekt kann in fünf verschiedenen LOD-Stufen repräsentiert werden: LOD0 (Regionalmodell, 2,5D), LOD1 (Klötzchenmodell), LOD2 (detaillierteres Modell mit differenzierten Dachformen und optionalen Texturen), LOD3 (geometrisch fein ausdifferenziertes Architekturmodell) und LOD4 (Innenraummodell) [*Gröger et al* 2004]. Zu beachten sind hierbei die offenen Schnittstellen und die Interoperabilität zu den einzelnen Fachanwendungsfeldern. Weiterhin können alle Geoobjekte, die nicht Gebäude darstellen, durch beliebige Geometrien, wie Punkte Flächen oder Volumenkörper, in der jeweiligen LOD-Stufe dargestellt werden (Standards werden hier evtl. zu einem späteren Zeitpunkt von der SIG3D formuliert). Die Darstellung des DGM darf durch GRIDS, TIN, 3D-Bruchkanten oder 3D-Massenpunkte erfolgen.

Eingesetztes LOD-Modell

Gesicherte Definitionen zur Modellierung von unterirdischen Objekten oder Brücken und deren Integration in das DGM, für den Umgang mit beweglichen Objekten, für die intelligente Darstellung von Innenräumen des LOD4 mithilfe des IFC-Standards sowie für die Historienverwaltung der gesamten Modelle als auch der einzelnen Gebäude liegen, derzeit noch nicht vor.

Nicht definierte Elemente

In Tabelle 1 werden analog zur Vorgehensweise der SIG3D die jeweiligen LOD-Parameter zusammengefasst. Die Erfassungsgeneralisierung beschreibt im jeweiligen LOD- Level die Objektform und die Objektgröße. Die Objektgröße beschreibt das Ausschlusskriterium, ab welcher Grundflächengröße ein Objekt im jeweiligen LOD aufgenommen werden muss. Unter Punktgenauigkeit wird die Lage im Gauss- Krüger- Koordinatensystem verstanden.

	<p>LOD 0 – Regionallevel 2,5 D Modell mit DGM und wichtigen 3D-Landmarken</p> <p>Erfassungsgeneralisierung: maximal Dachform/-Struktur: keine Punktgenauigkeit Lage/ Höhe: >5m/5m</p>
	<p>LOD 1 – Stadt/- Standortmodell Reines Kubaturmodell ohne Dachformen</p> <p>Erfassungsgeneralisierung: generalisierte Form > 6m x 6m Grundfläche Dachform/-Struktur: ebene Flächen Punktgenauigkeit Lage/ Höhe: >5m/5m</p>
	<p>LOD 2 – Stadt-/ Regionalmodell Modelle mit differenzierter Dachstruktur, optional mit Fassadentexturierung und additiven Vegetationsmerkmalen</p> <p>Erfassungsgeneralisierung: generalisierte Form > 4m x 4m Dachform/-Struktur: Dachtyp und Ausrichtung Punktgenauigkeit Lage/ Höhe: >2m/1m</p>
	<p>LOD 3 – Stadt/- Standortmodell Geometrisch fein ausdifferenzierte Architekturmodelle mit Vegetation und Straßenmöblierung</p> <p>Erfassungsgeneralisierung: Realform > 2m x 2m Dachform/-Struktur: reale Form Punktgenauigkeit Lage/ Höhe: >0,5m/0,5m</p>
	<p>LOD 4 – Innenraummodell Begehbare Architekturmodelle</p> <p>Erfassungsgeneralisierung: reale Form, Abbildung konstruktiver Elemente und Öffnungen Dachform/-Struktur: reale Form Punktgenauigkeit Lage/ Höhe: >0,2m/0,2m</p>

Tabelle 1: Eingesetzte LOD-Definition für das 3D-Stadtmodell Bamberg [nach Gröger et al 2003, ergänzt durch eigene Darstellungen und Bild LOD 4 von Scheinwelten 2003]

2.3 Anwendungsfelder

Eine der wichtigsten Fragen im Rahmen der Erstellung eines 3D-Stadtmodells lautet: Wofür kann uns ein 3D-Stadtmodell nützen? Die Erwartungen sind je nach Anwender, Auftraggeber und „Modellbauer“ sehr verschieden. Wesentlich erscheint, dass ein 3D-Stadtmodell nicht nur nach dem „l’art pour l’art“-Prinzip erstellt wird, sondern universell in verschiedenen Bereichen der Kommune eingesetzt werden kann. Dies soll unter anderem amtsintern für differenzierte städtebauliche Fragestellungen geschehen. Für Kommunen kann auch der externe Gebrauch von 3D-Stadtmodellen interessant sein. Durch die Weitergabe bzw. durch die Verwertung der Nutzungsrechte des Modells z.B. zu Marketingzwecken oder im Immobilienentwicklungsbereich könnten hierbei Mehrwert-Effekte erzielt werden. Über die Koordinierung verschiedener Anwendungsbereiche und unter Hinweis auf Synergie-Effekte, kann vor allem in den Kommunen die Zurückhaltung bezüglich dieser neuen Art der Planungsgrundlage wohl zumindest verringert werden. Offensichtlich werden zurzeit die günstigen Potentiale für die tägliche Praxis (noch) verkannt.

Jeder Anwendungsbereich erfordert eine andere, ihm eigene Datengrundlage und Detaillierungsschärfe. Im Bereich der Regionalplanung genügt ein grobes Regionalmodell der LOD 0- Stufe, im Tourismusbereich müssen zur besseren Widererkennbarkeit die Fassaden detailgetreu dargestellt werden, sodass hierfür mindestens die LOD 3 Stufe benötigt wird.

Spezifische LOD-Stufen

Weitere wichtige Kriterien sind die fortlaufende Aktualisierung der Datenbestände, der Katasterbezug und die Möglichkeit der potenziellen mobilen Datenzugriffe und Online-Services.

Schwieriger wird die Abgrenzung der einzelnen Teildisziplinen untereinander und im Vergleich zum Bereich der Stadtentwicklungsplanung und zur eigentlichen Stadtplanung. Schon aus dem Verständnis des Planers heraus, alle Belange einzelner Teildisziplinen zu sammeln, zu analysieren, zu bewerten und abzuwägen, um schließlich eine Entscheidung zu treffen, macht die Abgrenzung zwischen Stadtplanung und anderen Anwendungsfeldern zumindest nicht leicht. Einige der nachfolgend tabellarisch aufgeführten Anwendungsfelder vermischen sich.

Zielgruppen Anwendungsbereich	3D-Daten	Genauigkeit, DHM Rasterweite	LOD	Online-Access	Aktualisierung	Katasterbezug
Stadtplanung Städtebau	Geländemodell Stadtmodell	DHM 2m, Stadtmodell 0,5m	LOD 2-4	unwichtig	wichtig	sehr wichtig
Straßenplanung, Verkehrsplanung	Geländemodell Stadtmodell	Geländemodell: 0,3-0,1m Stadtmodell: 0,1m	LOD 3	unwichtig	wichtig	sehr wichtig
Stadtentwässerung	Geländemodell, kein Stadtmodell	Geländemodell: Höhengenaugigkeit 0,3cm für Entwurfsplanung ok	LOD 0	unwichtig	wichtig	wichtig
Versorgung / Entsorgung	DHM Stadtmodell	dm bis m	LOD 3 und 4	weniger wichtig	wichtig	wichtig
Stadtwerke	Geländemodell, evtl. Stadtmodell	Höhe 0,25m, Lage 2m Stadtmodell	LOD 0 –LOD 1	weniger wichtig	wichtig	wichtig
Abfallwirtschaft	Geländemodell für Deponiebetrieb	Höhengenaugigkeit 0,5m	LOD 0	unwichtig	wichtig	wichtig
Lärmschutz	Stadtmodelle und Geländemodelle	5m	LOD 2	unwichtig	wichtig	weniger wichtig
Umwelt Schadstoffausbreitung	Geländemodell Stadtmodelle	5m	LOD 1	unwichtig	weniger wichtig	unwichtig
Umwelt Grundwasserschutz	Geländemodell (Oberfläche und Untergrund),	0,5m	LOD 2-3	unwichtig	wichtig	wichtig
Umwelt Bodenschutz	nur Geländemodell	0,5m	-	unwichtig	unwichtig	wichtig
Umwelt Landschaftsplanung	Geländemodell	Höhe: 1m	LOD 0	unwichtig	weniger wichtig	weniger wichtig
Umwelt Hochwasserschutz	DHM Gebäude Deiche Vegetation Bruchkanten	25m-Raster	LOD2	Sehr wichtig	wichtig	wichtig
kommunale Wirtschaftsförderung	Gebäude / Stadtmodelle	1m	LOD 3-4	weniger wichtig	wichtig	wichtig
kommunale Tourismusförderung	Geländemodell, Stadtmodell	DHM 10m, Stadtmodell 2m	LOD 3-4	wichtig	wichtig	unwichtig
Sicherheitsdienste / Katastrophenschutz	Gebäudemodelle, Stadtmodelle	0,5m bis 5m	LOD 2-3	ja, wichtig als Kunde	wichtig	wichtig
Katastrophenschutz / Feuerwehr	Geländemodell, Gebäudemodelle	Stadtmodell 1m	LOD 3-4	wichtig	sehr wichtig	sehr wichtig
Denkmalschutz	Geländemodell, Stadtmodell	Stadtmodell 0,5m	LOD 3-4	unwichtig	unwichtig	weniger wichtig
Navigation, (Fahrzeugsteuerung)	DHM, respektive Neigung	10m-Raster	LOD 2 - 3	wichtig	wichtig	unwichtig
Navigation, (Mobile Endgeräte, MMS)	Stadtmodell	Stadtmodell 0,5	LOD 2	wichtig	sehr wichtig	wichtig
Professionelle Flugsimulation	DHM Textur (Luftbild)	25-50m 1m-Bereich m-Bereich	LOD 0 LOD 2-3	entfällt	wichtig	unwichtig
Telekommunikation (Funknetzplanung)	DHM Stadtmodelle	km bis dm	LOD 1 bis 3	weniger wichtig	wichtig	weniger wichtig
Immobilien allg., Banken, Versicherungen	Geländemodell, Stadtmodell als Ansichten oder virtuelle Anflüge	DHM 2m bis 10m Stadtmodell 0,5m	LOD 2-4	wichtig	wichtig	weniger wichtig
Immobilienprojekte	Detailmodell, Architekturmodell virtuelle Anflüge	DHM 2m bis 10m Stadtmodell 0,5m für Umgebung	LOD 4	weniger wichtig	wichtig	weniger wichtig

Tabelle 2: Anwendungsfelder und Zielgruppen für ein 3D-Stadtmodell [nach Albert, Bachmann, Hellmeier 2004]

2.3.1 Vermessung

Die städtischen Vermessungsämter könnten prinzipiell auf die gewonnenen Daten wie Laserscans und Gebäudeaufnahmen zurückgreifen, da sie genau eingemessen werden. Problematisch hierbei ist allerdings der hoheitliche Auftrag der Vermessungsämter, die entweder eigene Aufmessungen durchführen oder ein per Eides statt verpflichtetes privates Planungsbüro beauftragen müssen. Theoretisch könnten die Daten übernommen werden, wenn denn die rechtlichen Voraussetzungen gegeben sind.

Ein möglicher Anknüpfungspunkt sind die bereits bei den Vermessungsämtern vorgehaltenen Daten. So hat z.B. das Vermessungsamt Stuttgart schon ein im ArchiCAD-Format vorliegendes 3D-Stadtmodell generiert, auf das problemlos zurückgegriffen werden könnte.

2.3.2 Architekturwettbewerbe

Öffentlich ausgeschriebene Wettbewerbe sind wesentliche Bestandteile der Baukultur und nehmen einen immer bedeutenderen Platz bei der Vergabe von Bauprojekten ein. Sie dienen dem Auslober als Instrument der Entscheidungsfindung, um hochwertige Architekturentwürfe und Realisierungskonzepte für bestimmte, im öffentlichen Raum bestehende Situationen zu diskutieren, und diese baulich neu zu ordnen [*Petschek & Lange 2004*].

Die Wettbewerbsbeiträge sollen zum einen durch qualitativ hochwertige Architektur bestechen, zum anderen müssen sie auch auf bestehende Baustrukturen reagieren und sich in den Stadtkörper einfügen. Geprüft wird dies momentan durch verschiedene Techniken:

- Bauen eines (physischen) Architekturmodells, das in ein für diesen Wettbewerb eigens angefertigtes Gips- oder Holzmodell eingepasst wird. Oftmals werden diese sperrigen, zerbrechlichen und kostenintensiven Modelle dem am Wettbewerb teilnehmenden Architekten postalisch zugeschickt, und erreichen ihn oftmals nicht im einwandfreien Zustand.
- Die Teilnehmer bauen in Eigenregie ein städtisches Umgebungsmodell, das in Material und Qualität im Vergleich zu anderen Teilnehmern unterschiedliche Qualitäten besitzt.
- Oder aber es wird ein eigenes, dreidimensionales virtuelles Modell erstellt. Auch hier entstehen verschiedene Qualitäten.

Alle diese Vorgehensweisen sind zeitintensiv, mit einem hohen Aufwand verbunden und werden nicht vergütet.

Im Zuge der Chancengleichheit, der Kostenreduzierung, der besseren Vergleichsmöglichkeiten und einer objektiveren Bewertung der nicht nach wissenschaftlichen Gesichtspunkten quantifizierbaren Qualität von Architektur, kann zumindest ein für alle Teilnehmer gleichwertiges 3D-Stadtmodell von darstellungstechnischen Unterschieden des umgebenen Stadtkörpers befreit werden und somit eine vielleicht objektivere Bewertung des eigentlichen Wettbewerbsbeitrages gewährleisten.

In der Schweiz werden alle öffentlichen Großprojekte mit einer Bausumme von über 10 Millionen Franken durch Wettbewerbe und öffentliche Volksabstimmungen vergeben. Grundlage für die Entscheidung sind die eingereichten Arbeiten, oftmals in Form von Fotomontagen, Renderings (Stills) Panoramaaufnahmen oder FlyThrough – Filmen. Diese Ergebnisse stellen nicht

Überprüfung des Einfügens in den Bestand

Chancengleichheit und Kostenreduktion

nur in der Schweiz eine solide Grundlage für die Kommunikation zwischen Auslober und Öffentlichkeit dar.

Bessere Kommunikation durch 3D-Stadtmodelle?

Allerdings stellt sich die Frage, inwiefern Präsentationen für die Entscheidung des Auslobers wichtig sind. Können 3D-Stadtmodelle grundsätzlich bei Wettbewerben sinnvoll eingesetzt werden? Wieweit kann anhand von Visualisierungen in einem 3D-Stadtmodell die Wahrnehmung des Planungsinhaltes und die damit verbundene Kommunikation mit der Öffentlichkeit positiv beeinflusst werden? Außerdem müssen Unterschiede zwischen der klassischen Kommunikation mit traditionellen Hilfsmitteln und der Akzeptanz neuer Medien mit 3D-Visualisierungen untersucht und die Frage erörtert werden, ob Inhalte mit neuen Medien und 3D-Visualisierungen besser kommuniziert werden [*Petschek & Lange 2004*].

Ergebnisse im Forschungsfeld Kommunikation und Wahrnehmung planerischer Arbeiten sind bislang kaum vorhanden [*Rice 2003*]. Ein positives Urteil liefert das Forschungsprojekt „Planung des öffentlichen Raumes - der Einsatz von neuen Medien und 3D Visualisierungen am Beispiel des Entwicklungsgebietes Zürich-Leutschenbach“ an der HSR Rapperswil und ETH Zürich [*Petschek & Lange 2004*].

Positive Akzeptanz

Glaubt man den in dem Forschungsprojekt durchgeführten Umfrageergebnissen, so wünschen sich mehr als 80% der an Wettbewerben teilnehmenden Büros ein gut aufbereitetes 3D-Stadtmodell als gemeinsame Planungsgrundlage. Die Akzeptanz und die Kommunikation des Planungsinhaltes mittels neuer Medien werden als positiv bezeichnet, wobei generell interaktive den statischen Präsentationen vorgezogen werden.

Hiermit wird deutlich, wie wichtig ein solides 3D-Stadtmodell nicht nur für die teilnehmenden Büros als Planungserleichterung ist, sondern wie auch die Akzeptanz in der Öffentlichkeit positiv beeinflusst werden könnte. Durch intelligente Schnittstellen mit der Möglichkeit von Überblendungen sind in ein und demselben Modell verschiedene Entwurfsvorstellungen miteinander vergleichbar, sodass jede Situation im Stadtkörper von jedem Punkt aus in kurzer Zeitfolge zu analysieren ist.

2.3.3 Stadtentwicklung und Stadtplanung mit Bürgerbeteiligung

Computergestützte Planung

Der Einsatz von computergestützten Methoden und Verfahren im Rahmen der räumlichen Planung besitzt eine lange Tradition. In den letzten Jahren ist hingegen ein als fast „revolutionär zu bezeichnender Paradigmenwechsel des Computers als Rechenautomat oder Zeicheninstrument mit weitgehend homogenen Datensätzen (nur Zahlenkolonnen oder nur Textinformationen etc.) zu einem universellen Informations- und Kommunikationsmedium mit weitgehend heterogenen Datensätzen [*Streich 2000, S.7*]“ eingetreten. Bereits die visuelle Präsentation von heterogenen Geodaten, deren Verknüpfung von Informationen innerhalb von 3D-Stadtmodellen und die dadurch erreichte Wissensgenerierung bieten ungeahnte Möglichkeiten.

Planung allgemein setzt sich aus den einzelnen Verfahrensschritten der Informationsgewinnung, der Ziel- und Problemstrukturierung, der Prognosenformulierung, der Planentwicklung und der dazu gehörigen Alternativenfindung, der Planbewertung und Entscheidung sowie der nachfolgenden Planverwirklichung und Erfolgskontrolle zusammen. Der zielgerichtete Einsatz von 3D-Stadtmodellen zur Wissensvermittlung und

Kommunikation kann in den jeweiligen Planungsstufen die Transparenz der Entscheidung maßgeblich erhöhen.

Letztlich sind virtuelle Stadtmodelle, auch digitale Städte genannt, als Planungsinstrument für die Gestaltung der Zukunft der Städte uneingeschränkt zu akzeptieren.

Anhand dieser Modelle ist es möglich, Varianten, Planungen und Veränderungen im Stadtgefüge zum einen zeitlich und räumlich zu analysieren und zu bewerten, und zum anderen eine Diskussionsgrundlage zu erstellen, um verschiedene Planungsvarianten und – versionen zu diskutieren [Achleitner, Schmidinger, Voigt 2003].

3D-Stadtmodelle für die räumliche Planung

Die Lebensgrundlage der Menschen liegt in der optimalen Nutzung des Raumes. Durch Manipulation des Raumes kann dieser verbessert oder verschlechtert werden. Um den Raum nachhaltig positiv beeinflussen zu können, muss ein dezidiertes, problembezogenes Wissen über räumliche Faktoren sowie über Elemente und Beziehungen des Systems Raum vorhanden sein. Gerade in den dicht besiedelten Agglomerationsräumen werden diese Wechselbeziehungen immer komplexer, wobei ohne raumbezogene Informations- und Planungssystemen diese Beziehungen manuell fast nicht mehr dargestellt werden können. Wichtigste Voraussetzung sind raumbezogene Daten, die archiviert und ständig aktualisiert werden müssen. Auf der Grundlage dieser Geodaten können anschließend dreidimensionale Stadtmodelle generiert werden. „Raumplanung ist daher mit Geoinformation, Techniken der raumbezogenen Modellbildung und Simulation auf das engste verzahnt“ [Achleitner, Schmidinger, Voigt 2003, S. 171].

Verzahnung von Geodaten und Stadtmodellen

Besonders die Kriterien der Aktualität und Modifizierbarkeit eines 3D-Stadtmodells sind die in der Praxis wichtigsten Anforderungen, die einen hohen technischen und personellen Aufwand und einen sensiblen und akkuraten Umgang mit den verwalteten Geodaten erfordern. Ein Nichteinhalten dieser Parameter kann den Erfolg eines 3D-Stadtmodells in Frage stellen.

Der Flächennutzungsplan (FNP) wird immer für einen gesamten Stadtbereich aufgestellt. Je nach Größe der Siedlung, kann der Plan bis zu einigen Quadratkilometer an Fläche mit Planungsinformationen abdecken. Aufgrund der Größe des aufzustellenden 3D-Stadtmodells erscheint für die Flächennutzungsplanung ein abstrahiertes Modell mit Baummassendarstellung, sprich LOD 1, die sinnvollste Lösung. Hiermit kann die vorhandene bauliche Struktur und Dichte verhältnismäßig einfach dargestellt werden und erste Aussagen über die Stadtstruktur sind möglich. Durch die Reduktion auf die Kubatur der einzelnen Quartiere und Stadtteile sind weiterhin Planungselemente schnell modifizierbar. Eine zusätzliche Möglichkeit ist die rasche Integration von anderen Datenbeständen, wie die Darstellung von Nutzungskategorien, Pendlerströmen, Bewohnerdichten [Luser&Lorber1997].

Flächennutzungsplanung- Stadtentwicklungsplanung

Falls die Daten für den digitalen 3D-FNP aktuell gehalten sind, können schon im ersten Planungsabschnitt Zustandsbeobachtungen über aktuelle Entwicklungen im Stadtgefüge angestellt werden. Bei gleichzeitiger Verknüpfung mit den Datenbanken der Statistikämter oder bei Einbeziehung von ALKIS- Daten können so erste Veränderungen analysiert werden. Somit werden eventuelle Probleme im Stadtgebiet schneller sichtbar, die zuständige Planungsbehörde erkennt die Planungserfordernis und kann den Beschluss zur Aufstellung des Bauleitplans umgehend fassen. Prognosen und Variantenvergleiche werden begünstigt und bei ständiger Aktualisierung der Datenbestände wäre auch ein Monitoring als Erfolgskontrolle denkbar. Insgesamt ist das 3D-Stadtmodell im

3D-Stadtmodell im Bauleitplanverfahren

Bauleitplanverfahren als stadtraumbezogenes Content Management System [Achleitner, Schmidinger, Voigt 2003] bzw. als computergestütztes Assistenzsystem [Streich 2000] verstehen.

Im Rahmen des eigentlichen Bauleitplanverfahrens sowie für die Aufstellung eines Bebauungsplans lassen sich wie schon bei Streich 2000 beschrieben, in jedem Abschnitt des verfahrensrechtlich geregelten Verfahrens verschiedene Anknüpfungspunkte zur besseren Verständlichkeit des Planungsinhaltes mittels eines 3D-Stadtmodells beobachten.

Aufstellungs- beschluss

Bauleitpläne sind nach §1 Abs. 3 BauGB dann aufzustellen, sofern es für die städtebauliche Entwicklung erforderlich ist. Demnach müssen schon vorher verschiedene Planungsinformationen gesammelt und analysiert werden. Diese Planungserfordernisse sind sehr gut im Rahmen eines 3D-Stadtmodelles zu visualisieren.

Frühzeitige Bürgerbeteiligung

3D-Stadtmodelle sind bestens geeignet der Kommunikation mit der Öffentlichkeit zu dienen. Ein wesentlicher Einsatzbereich von 3D-Stadtmodellen ist der der Kommunikation mit Öffentlichkeit zu bezeichnen. Laut §3 Abs. 1 BauGB müssen die Bürger möglichst frühzeitig ortsüblich über die allgemeinen Ziele und Zwecke der Planung unterrichtet werden und die Gelegenheit bekommen, sich zu äußern und die gegebenen Anregungen sowie Einwände zu erörtern. Nunmehr bietet sich die Möglichkeit, die Planungsziele von Beginn an in einem 3D-Stadtmodell zu integrieren, und diese Ziele allgemeinverständlich zu transportieren. Benutzt man für diesen Verfahrensschritt die Möglichkeit der Präsentation im Internet, könnte eine breitere Öffentlichkeit erreicht und über die Planungsinhalte präzise informiert werden. Trotzdem sollte das traditionelle Beteiligungsverfahren nicht komplett ersetzt werden, da viele Bürger im Umgang mit den neuen Medien noch Berührungängste haben.

Beteiligung Träger öffentlicher Belange

Genauso wie die Bürger, sind auch die Träger öffentlicher Belange (TÖB) zu einem möglichst frühen Zeitpunkt in das Verfahren mit einzubinden. Es gibt zwar keine rechtlichen Vorgaben über die Ausgestaltung des Verfahrens, wichtig ist allerdings, sie grundsätzlich an solch einem Verfahren zu beteiligen [Streich 2000]. Die TÖB können zum einen auf die dreidimensionalen Stadtgrundlagen in der für sie benötigten Level- of- Detail- Stufe zurückgreifen, um Simulationen oder Planinhalte zu integrieren [Gewässerbau, Katastrophenschutz], andererseits sind dann diese Ergebnisse im Rahmen der Abwägung besser verständlich – zum Beispiel wenn in einem Überschwemmungsgebiet bei der Simulation die Gebäude unter Wasser stehen.

In den weiteren Stufen des Bauleitplanverfahrens, wie die Billigung des Planes, der Auslegungsbeschluss zum Planentwurf, die öffentliche Auslegung, die Abwägung und der Satzungsbeschluss, kann ein 3D-Stadtmodell der besseren Information dienen.

Vergleich von Planungsalternativen

Wichtig in allen Planungsphasen ist zum einen die verständliche Darstellung des Planungsinhaltes als auch die interaktive Veränderbarkeit im direkten Vergleich von einzelnen Planungsalternativen [Schildwächter, Poesch, Wettels, Zeile 2004]. Als Planungsgrundlage in den Entwurfsphasen ist das "Experimentieren mit Stadträumen" ein wichtiger entwurfsprozeßbegleitender Bestandteil, der durch das Zurückgreifen auf eine Grunddatenmenge für den gesamten Planungs-, Entscheidungs- und Kommunikationsprozess in städtebaulichen Fragen sehr gut geeignet ist. Der implementierte Detailreichtum und die Validierung von Simulationstechniken sollten hierbei allerdings mit weiteren Untersuchungen unter Einbeziehung der Umwelt- und Wahrnehmungspsychologie verknüpft werden [Voigt 2001].

Stadtgestalt: Überprüfung von Raumwirkung und Erlebniswert	<ul style="list-style-type: none"> • Volumina, Silhouetten • Raumprofile, Proportionen • Öffentliche Räume, Platz- und Straßenräume • Fern- und Nahwirkung von stadträumlichen Dominanten („Landmarks“) • Großprojekte, baulich- infrastrukturelle Einzelprojekte
Entwurfsvarianten: Einsatz verschiedener Parameter	<ul style="list-style-type: none"> • räumliche Verdichtung, Varianten der Massenverteilung, Höhenentwicklung • Addieren und Gruppieren im Kontext von Bebauungsstrukturmodellen • Verschieben von Einzelobjekten, Objektgruppen oder Gesamtmodellen • Drehen • Skalieren von Modellen in allen Raumachsen • „Deformation“ und „Morphing“ usw.
Umgang mit dem vorhandenen städtebaulichen Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Lichteinfalls- bzw. Abstandsbestimmungen • Topographie • Solarangebot • Stadtklima, Strömungsverhältnisse • Lärmbelastung • infrastrukturelle Ausstattung • Einwohnerdichten
Gestalterische Auseinandersetzung am Objekt oder in Objektgruppen	<ul style="list-style-type: none"> • Charakteristik des Raumes, Dialogsituation, Konfrontationssituation • Baulückenbebauung, freistehendes Objekt • stadträumliche Problem- und Konfliktsituation • Baukörperstellung (im Straßenraum) • Dachlandschaft, Variation von Trauf- und Giebelstellung • Texturierung und Strukturierung von Fassaden, Farbgebung • Variantenbildung und Aufzeigen von Alternativen
Veränderungen am Bestand, Bestandsergänzungen	<ul style="list-style-type: none"> • Abbruch von Einzelobjekten • Innenhofentkernung • flächenhafter Abbruch
Stadträumliche Bepflanzung, Detailfragen	<ul style="list-style-type: none"> • Oberflächengestaltung • Stadtmöblierung • Kunst im öffentlichen Raum • Beschilderung (z.B. Sichtbarkeit und Lesbarkeit bei unterschiedlichen Sichtsituationen) • Plakatierung • Wegeführung • Beleuchtung
Temporäre Rauminstallationen, temporäre Fassaden	<ul style="list-style-type: none"> • Festivals • diverse Installationen im Raum
Als Vision die Wechselbeziehungen von Raumstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> • Bebauungsstruktur und Verkehrsorganisation bzw. Verkehrsbelastung • Bebauungsstruktur, Bevölkerungsstruktur und soziale Infrastruktur, Auslastung • Bebauungsstruktur und technische Infrastruktur (Ver- und Entsorgung), Netzbelastungen • Bebauungsstruktur und Stadtökologie, Stadtklima • Bebauungsstruktur und sozialer Raum, öffentlicher Raum, Nutzbarkeit • Bebauungsstruktur und Investitionsvolumen, Folgekosten, Reparaturzyklen • akustische Belastung durch bauliche und verkehrliche Maßnahmen • Energiebedarf und Ressourceneffizienz von Bebauungsstrukturen

Tabelle 3: Mögliche Verwendungszwecke eines 3D-Stadtmodells im Rahmen der städtebaulichen Planung [nach Voigt 2001]

Die Möglichkeiten des Experimentierens mit dem Stadtraum sind im folgenden als eine Art Pflichtenheft verfasst worden und sollten als Grundlage für die Weiterentwicklung von 3D-Stadtmodellen dienen. Im Laufe der Bearbeitung des 3D-Stadtmodells Bamberg wurde aber sehr schnell deutlich, dass die nachfolgende Tabelle nicht als ein striktes Pflichtenheft verstanden werden kann, sondern vielmehr nur die potentiellen Einsatzmöglichkeiten eines 3D-Stadtmodells widerspiegelt.

Die Einsatzmöglichkeiten sind wie oben beschrieben mannigfaltig. Je nach Planungsanlass wird zu entscheiden sein, ob es, vor allem aus Kostengründen, sinnvoll erscheint, die Planung dreidimensional zu visualisieren. Hinsichtlich der Nachvollziehbarkeit und der Transparenz der Entscheidungsfindung sind diese neuen Einsatzmöglichkeiten jedoch ein probates Mittel, um jedem am Planungsprozess beteiligten Akteur auch ohne Kenntnis der jeweiligen fachspezifischen Plandarstellung und des damit verbundenen Fachvokabulars bestmöglichst zu informieren.

2.3.4 Immobilienwirtschaft

Im Bereich des Immobilienmarketings bilden die Qualität der Informationen und die Kommunikation im Bereich der Verhandlungen mit den potentiellen Käufern oder Investoren einen bedeutenden Faktor. Harte und weiche Standortfaktoren sowie die genaue Kenntnis des Wohnumfeldes bestimmen die erfolgreiche Vermarktung von Immobilien.

Immobilienbörsen im Internet [z.B. *ImmobilienScout24*] stellen ein beachtliches Vermarktungspotenzial dar. Bei den dort angebotenen Objekten bestimmt aber zunehmend die Präsentation - über die eigentlichen Kenngrößen der Immobilie hinaus - den Erfolg.

Im Rahmen der projektbegleitenden Visualisierung und dem Immobilienmarketing werden hochspezialisierte, technisch aufwendige 3D-Modelle benötigt. Aussagen zu Materialien, Farben etc. sind absolut erwünscht, da der potentielle Kunde oder Investor eine dezidierte Aussage hierzu erwartet. Die Einbindung in den städtebaulichen Kontext ist aus Investorensicht meist zweitrangig, jedoch für eine öffentlichkeitswirksame Kommunikation und zur Akzeptanzbildung sehr wichtig [vgl. hierzu Kap. *Architekturwettbewerbe*]. Viele Fragen der Kundenseite werden durch den festgelegten Detaillierungsgrad schon in der Entwicklungsphase geklärt, sodass während der eigentlichen Bauausführung oftmals nur noch geringe Änderungswünsche anfallen und die Baukosten dadurch reduziert werden können.

Seitens der Immobilienentwickler werden vor allem Vorher-Nachher-Vergleiche, sowie eine 3D-Stadtmodell- bzw. Quartiermodellversionierung gewünscht. Vor-Ort-Besuche bei der direkten Vermarktung könnten allerdings durch 3D-Stills als auch durch 3D-Modelle nicht ersetzt werden [*3D-4D-Stadtmodelle 2004*]. Zur ersten Orientierung und Information über das Objekt jedoch, könnten 3D-Stadtmodelle mit dem integrierten, zu vermarktenden Objekt, in Zukunft ein erheblicher Marketingvorteil sein. Vor allem für nicht ortsansässige potenzielle Käufer könnte ein Anflug über ein Stadtquartier in Richtung auf das vorgesehene Objekt mit nachgehendem, interaktivem Quartiersrundgang zur Information über die nähere Infrastruktur sowie eventuelle Versorgungseinrichtungen ein interessantes Anwendungsgebiet.

Erfolgreiches
Marketing durch 3D-
Visualisierung

2.3.5 Bauaufnahme im Denkmalschutz, Dokumentation von Kulturgütern

Der Begriff „Bauaufnahme“ wird je nach Einsatzfeld verschiedenartig aufgefasst. Im Allgemeinen versteht man unter Bauaufnahme die „Erfassung der Maße und der physikalischen Eigenschaften des Objektes, um dann die Ergebnisse in graphischer und verbaler Form zu dokumentieren“ [Böhler 2001 S. 24]. Je nach Anwendungszweck der Bauaufnahme, wie z.B. Ermittlung des Verkehrswertes oder der 3D-Visualisierung, werden zusätzliche Bestandteile der Gesamtdokumentation hinzugefügt. Ein solches zusätzliches Element ist die historische Bauforschung, die sich neben dem detaillierten Messen, intensiv mit der Entstehungsgeschichte des Denkmals und seiner Bedeutung im örtlichen und historischen Kontext beschäftigt. Jede Bauaufnahme stellt eine dem Verwendungszweck angepasste zielgerichtete Methode aus Beobachten, Analysieren und Dokumentieren dar [Gerner Hansen 2001].

Eine wesentliche Schwierigkeit besteht darin, wie mit angemessenem Aufwand komplexe, dreidimensionale Baustrukturen dargestellt und modelliert werden können [Weferling 2001]. „Die Modellierung führt zu einer Repräsentation des Originals im Modell, die immer unter bestimmten Randbedingungen stattfindet“ [Stachowiak 1983]. Je nach Herangehensweise und Fragestellung führt dies dazu, dass im Modell, beeinflusst vom Zeichenduktus des Bearbeiters, immer nur Teilattribute des Originals vorhanden sind. Allerdings ist gelegentlich auch das Phänomen zu beobachten, dass neue Attribute durch Interpretation hinzukommen, die im Original nicht enthalten sind.

Begriff der Bauaufnahme

Modellierung in der Bauaufnahme

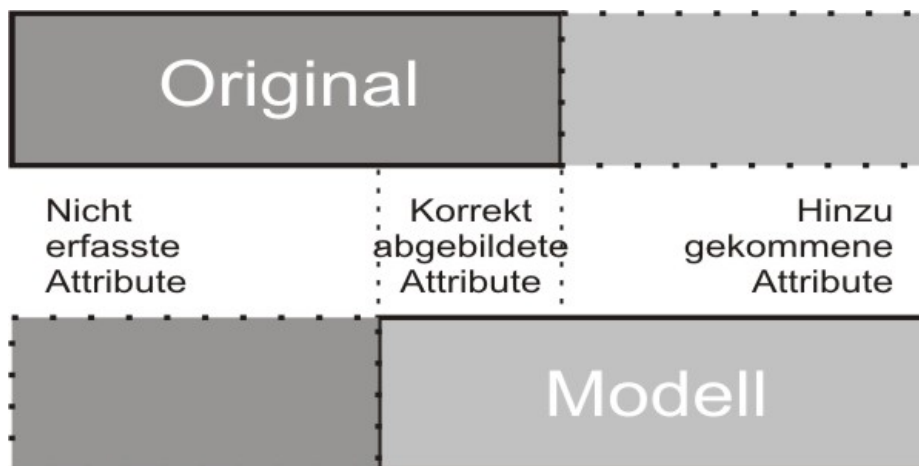


Abbildung 12: Modellierungsschema bei der bauhistorischen Aufnahme [Eigene Darstellung, nach Stachowiak 1983]

Der Vorteil von digitalen Stadtmodellen ist, dass historische und zukünftige Situationen veranschaulicht und erlebbar gemacht werden können. Dabei geht es primär weniger um das einzelne Gebäude, sondern um die Darstellung des gesamten Stadtensembles. Problematisch in diesem Bereich ist allerdings, dass wenn die herkömmlichen von Bauhistorikern genutzten Bauaufnahmefethoden vollwertig umgesetzt würden, der Zeitfaktor immens ansteigt. Zur raschen Aufnahme, Archivierung und Rekonstruktion sind in der Praxis photogrammetrische Methoden zu bevorzugen, da mit Hilfe dieser Technik zum einen eine schnelle Archivierung möglich ist, und zum anderen die Bauaufnahme und Rekonstruktion zeitlich und räumlich unabhängig wird [Ringle 2001].

Konservatorische Arbeit im Stadtensemble durch Fotogrammetrie

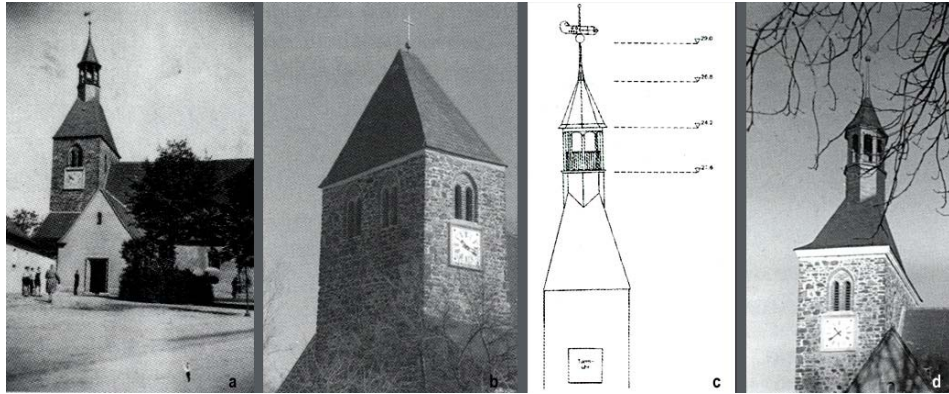


Abbildung 13:Rekonstruktion einer Kirchturmspitze mithilfe photogrammetrischer Methoden. a) Zustand vor der Zerstörung, b) vor der Rekonstruktion, c) Rekonstruktionszeichnung nach photogrammetrischer Aufnahme, d) Rekonstruierte Kirchturmspitze heute [*Hemleb, Siedler, Sacher 2001*]

Monitoring durch 3D-4D-Stadtmodelle

Sofern das 3D-Stadtmodell als 3D-Browser zur Orientierung im Modell dient, können mithilfe einer Geodatenbank additive Informationen wie Fotos zur Rekonstruktion, historische Besitzverhältnisse und Informationen über An- und Umbauten integriert werden, sodass ein 3D-4D-Stadtmodell entsteht. Dieses System hält für historische Zeitabschnitte die jeweiligen baulichen Informationen vor, die in Form einer historischen Stadtentwicklung archiviert werden kann und in Zukunft durch turnusmäßige Updates ein Art Bau-Monitoring darstellen.

Trotz der Möglichkeiten der historischen Archivierung von Städten darf das originäre Problem der Modellierung von Bauten nicht außer Acht gelassen werden, denn falsch aufgenommene Daten, sind nicht im Sinne des Denkmalschutzes.

Kulturgüterdatenbank

Andererseits können mithilfe einer Kulturgüterdatenbank [*Börner, Gross, Kobermeier 2000*], bzw. mit Unterstützung von Inventarlisten [*Gunzelmann 2003*] historische Ortszenen anhand von Grundrissen und historischen Ansichten rekonstruiert werden. Für die Darstellung historischer Siedlungsaktivitäten und zur Verinnerlichung gegenwärtiger bzw. geplanter Baustrukturen kann dies eine enorme, wenn auch kosten- und zeitintensive Hilfe sein. Dieser Aufwand ist jedoch nur in besonders schützenswerten historischen Städten (z.B. Status als Weltkulturerbe) zu rechtfertigen.

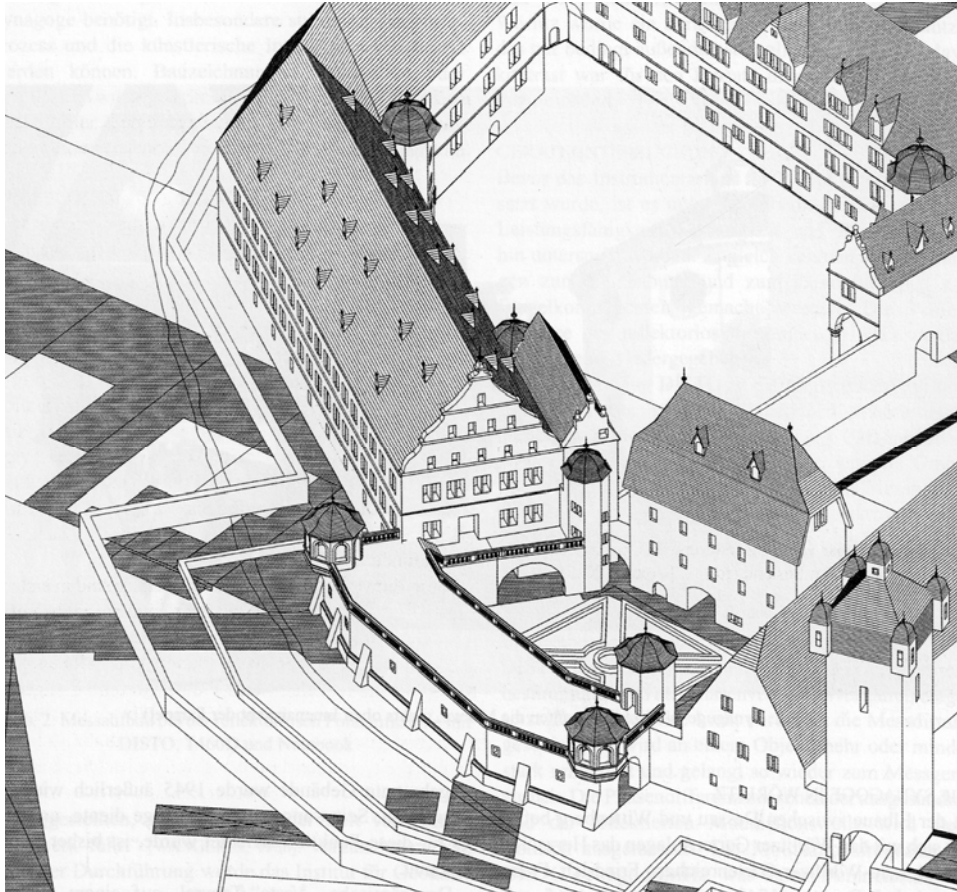


Abbildung 14: Axonometrischer Rekonstruktionsversuch der Karlsburg in Durlach im Zustand von 1600 überlagert auf dem Grundriss der heutigen Stadt. So könnte die Darstellung eines 3D-Stadtmodells in Verbindung mit historischen 3D-Modellen aussehen [Bachmann 2001]

2.3.6 Strömungs- und Transportmodelle

Durch Klassifizierung der Fließeigenschaften von flüssigen Materialien bzw. durch Benennung der Stoffe selbst, können mittels Software echte 4D-Simulationen von deren Ausbreitung durchgeführt werden.

Anfangen von Simulationen über Starkregenereignissen oder Kanalbrüchen bis hin zu Szenarien des Katastrophenschutzes bei Unfällen mit Chemikalien können so detaillierte und dezidierte Aussagen zur Ausbreitung dieser Stoffe, auch über einen längeren Zeitraum hinweg, getroffen werden.

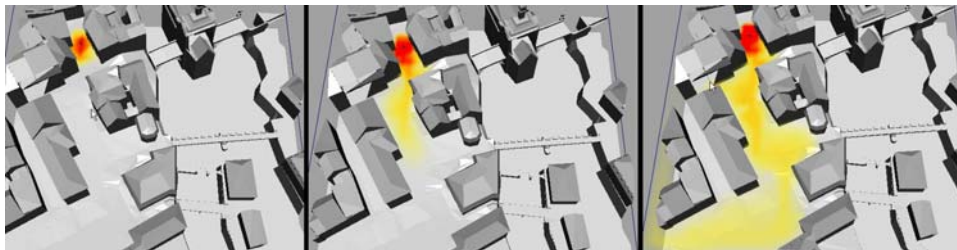


Abbildung 15: Ausbreitungssimulation einer punktförmigen Emission [Eigene Darstellung]

Altlasten

Exkurs: Zur Zeit werden auch Forschungen bezüglich Ausbreitungsmodellen im geologischen Untergrund betrieben [vgl. hierzu *Wycisk, Fabritius 2003*]. Durch ein noch recht kompliziertes und teures Aufnahmeverfahren mittels Testbohrungen und anschließender Schichteninterpolation der gegebenen geologischen Verhältnisse können auch unterirdische Ausbreitungsmodelle simuliert werden. Für den in der Stadtplanung auftretenden Normalfall sind diese Techniken jedoch unverhältnismäßig aufwändig und allenfalls in der Altlastensanierung von Bedarf.

2.3.7 Gewässerbau

Bei baulichen Veränderungen an Wasserwegen wie Brückenbauten, Durchlässe und Uferbebauungen von Fließgewässern verändern sich die Fließbedingungen und damit das hydraulische Leistungsvermögen des Gewässers. Dennoch muss für die Gefahrenabwehr die schadlose Ableitung eines Jahrhunderthochwasserabflusses gewährleistet sein. Durch Versiegelung geht natürliches Retentionsvolumen verloren, dieses muss an anderer Stelle wieder ausgeglichen werden.

Prognosen

Für diese erforderlichen Untersuchungen wird ein digitales Geländemodell benötigt. Nur auf dessen Datengrundlage können Nachweise sinnvoll und wirtschaftlich erbracht werden, das heißt über ein DGM, Abflussmengen und Volumina von Retentionsräumen sowie von Stauzielen einfach und kurzfristig berechnet werden, wobei Wasserspiegelveränderungen im Zentimeterbereich ermittelbar sind [*Endres 2003*].

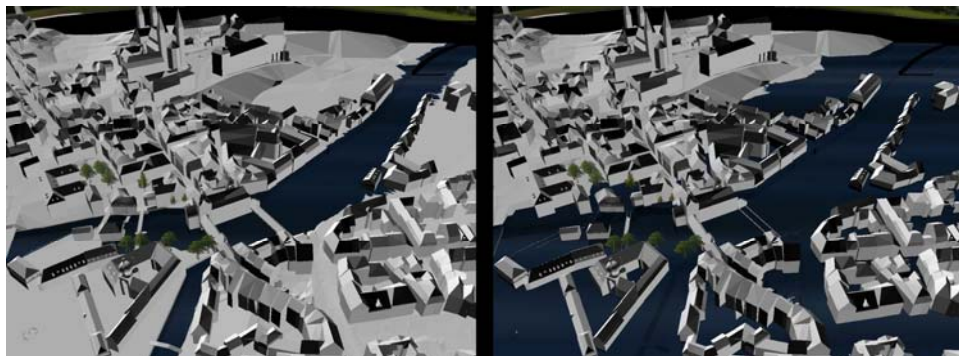


Abbildung 16: Überflutungssimulation LOD2 [Eigene Darstellung]

Idealerweise sollte ein DGM aber auch noch Zusatzinformationen über die bauliche Situation vor Ort enthalten. So kann das Abflussverhalten des Wassers exakter simuliert werden, insbesondere wenn durch bauliche Kubaturen die Fließrichtungen geändert sind.

Frage der Maßstabsebene

Vor dem Hintergrund der Hochwasserkatastrophe an Oder und Elbe stellt sich allerdings die Frage, ob für diese komplexen Abflussmodelle Simulationen, allein auf ein Stadtgebiet bezogen, die allumfassende Lösung darstellen können. Gerade in diesem Kontext wäre es als Vision sinnvoller, landesweit, bundesweit oder sogar grenzüberschreitend ein komplettes DGM mit Kubaturen und versiegelten Flächen zu besitzen, da Fließgewässer und Hochwasserereignisse nicht an Verwaltungseinheiten haltmachen, und auch jeder Zubringerfluss und jede noch so kleine, neuversiegelte Fläche sich auf das große Gesamtsystem auswirken.

2.3.8 Lärmschutz

In der Praxis werden für die Lärmmodellrechnungen bereits abstrahierte 3D-Stadtmodelle eingesetzt. In ein LOD1-Modell werden Lärmquellen integriert und deren Schallausbreitung im Bestand als Isolinien oder mithilfe von Farbverläufen visualisiert. Hierbei kann man auch die Lärmbelastung über den Tagesverlauf mit sich ändernden Lärmemissionen simulieren. Eine grobe Berechnung der Schallausbreitung gelingt mit dem reinen Volumenmodell. Benötigt man dagegen genauere Messwerte, so müssen den einzelnen Objekten differenzierte Reflexionseigenschaften zugewiesen werden. Kleinere Objekte, die eine geringere Oberfläche als 8-9qm aufweisen, sind für die Berechnungen weitgehend unerheblich. Grundsätzlich nimmt die Schallenergie mit zunehmender Entfernung vom Emittenten ab. Wichtig ist die exakte Erfassung der Schallintensität an der Emissionsquelle; je weiter die Emissionsquelle entfernt ist, desto ungenauer darf die Datengrundlage sein.

**Ausbreitung und
Abschirmung von
Schall**

Neben der Reflektion des Schalls muss auch die Schallabschirmung berücksichtigt werden. Durch die Abschirmung verlängert sich der Weg des Schalls vom Emittenten bis zur Immissionsstelle. Jede Verlängerung des Schallweges führt hierbei zu einer allerdings nur geringen Schallreduktion.

Die Schallberechnungen werden in der Praxis für die Lärminderungsplanung eingesetzt. Durch steigende Hardwareleistungskapazitäten sind solche Berechnungen sehr detailliert durchführbar. Sofern schon eine Stadtmodellgrundlage vorliegt, sind die vorhandenen Daten schnell zu modifizieren und die Lärmberechnung kann problemlos durchgeführt werden. Allerdings haben einige Systeme bei komplexen geometrischen Strukturen Probleme mit der Datenverarbeitung. Mit einfachen Volumenmodellen (LOD1) erreicht man dennoch relativ verlässliche Ergebnisse [3D-4D-Stadtmodelle 2004].

**Lärminderungs-
Pläne**

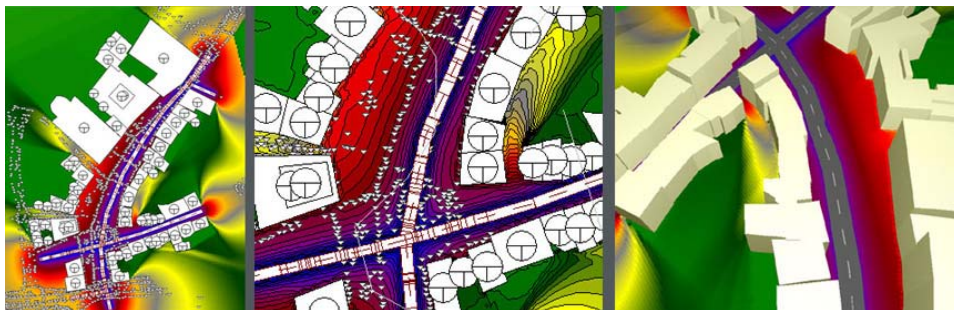


Abbildung 17: Lärmberechnung innerhalb des 3D-Stadtmodells, Situation Grüner Markt – Kreuzung Lange Strasse [3D-4D-Stadtmodelle 2004]

2.3.9 Katastrophenschutz

Der Katastrophenschutz stellt die Behörden vor immer neue Herausforderungen. Zum einen stellen „klassische“ Katastrophen wie Naturkatastrophen (u.a. Wirbelstürme, Hochwasser, Erdbeben), große Verkehrsunfälle (z.B. ICE Unfall Enschede) und Großbrände eine permanente Bedrohung dar, zum anderen fällt dem präventiven Katastrophenschutz zur Abwehr terroristischer Angriffe ein immer höheres Gewicht zu.

Kritische und zu schützende Infrastrukturen

Staat und Wirtschaft funktionieren nur, wenn kritische Infrastrukturen wie Telekommunikation, Energieversorgung, Bank-, Finanz und Versicherungswesen, Transport- und Verkehrswesen, Gesundheitswesen (inklusive Lebensmittel- und Trinkwasserversorgung), Notfall- und Rettungsdienste, Regierung und öffentliche Verwaltung ohne wesentliche Beeinträchtigung verfügbar sind [Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik 2003]. Grundsätzlich kann man vier Phasen des Katastrophenschutzes klassifizieren [Jasnoch 2003]:

Phase I: Mitigation – Die Verminderung des Eintreten eines Falles
 Phase II: Preparedness – Aktive Vorbereitung und Trainingsmaßnahmen
 Phase III: Response – Akute Phase nach Eintreten des Notfalls
 Phase IV: Recovery – Beseitigung des Schadens bzw. Langzeitversorgung bei irreversiblen Schäden.

Originäre GIS Aufgabe

Zur Bewältigung des Katastrophenmanagements sind vor allem GIS- Systeme mit den Aufgaben: Erfassung, Visualisierung, Analyse und Pflege [Bill 1999] von Infrastrukturdaten hervorragend geeignet.

In den Phasen I und II dient der GIS-Einsatz als Datengrundlage für Simulationen, zur Erstellung von Risiko- und Gefährdungskarten, zur Ausarbeitung von Trainingsszenarien und zur Gestaltung von Einsatzplänen. Für diese Phasen könnten auch bestimmte Gebäude oder Stadtquartiere als 3D-Datengrundlage nützlich sein.

In den Phasen III und IV dienen GIS-Systeme der Bereitstellung der Daten, helfen bei der Erhebung zusätzlicher Daten und visualisieren die Veränderungen im eigentlichen Katastrophenfall. Weiterhin können Ursachenanalysen und eine Dokumentation der Schadenserhebung durchgeführt.

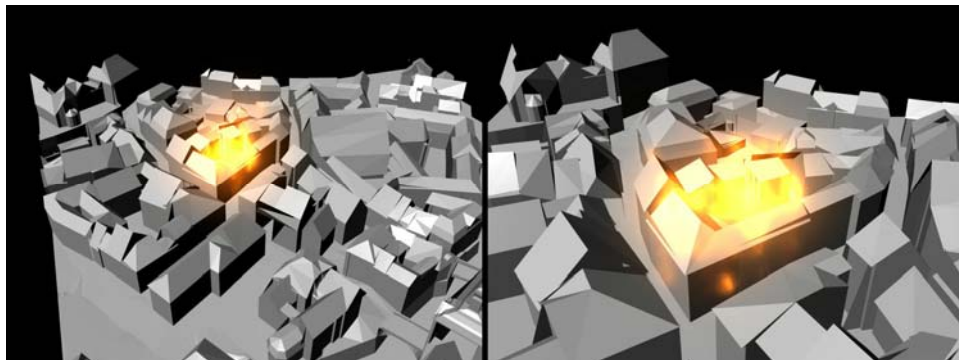


Abbildung 18: Simulation eines Hausbrandes, Situation Karolinenstrasse Bamberg [Eigene Darstellung]

Fiktive haptische Modelle zu Übungszwecken

Im Katastrophenschutz werden bislang zu Übungszwecken haptische 3D-Modelle aus Kunststoff oder Holz eingesetzt. Diese sind jedoch nicht an eine reale Situation gebunden, sondern stellen immer nur einen Ausschnitt aus einer fiktiven Stadt oder ländlichen Gegend mit den dazugehörigen Infrastrukturen dar. Die Gebäude werden mit aufklappbaren Fensteröffnungen und Türen ausgearbeitet. Mit Zubehör wie Autos, Zügen und Flugzeugen teilen diese oftmals sehr kostenaufwändigen Modelle die Grundlage für die Simulation von Katastrophenszenarien. Nachteilig wirkt sich hierbei der mangelnde Realitätsbezug aus. Dementsprechend erachten es Brandschutzexperten als sinnvoll, die Übungen in realen Strukturen durchzuführen, in denen z.B. auch

Fahrtzeiten und Verkehrsaufkommen simuliert werden können [3D-4D-Stadtmodelle 2004].

In der Praxis dienen 3D-Daten dem Katastrophenschutz nur unterstützend, da eigenständige 3D- GIS -Systeme noch nicht verfügbar sind. Allerdings werden derzeit schon 2,5D-Modelle (Geländemodelle) für Ausbreitungsberechnungen auf der Oberfläche genutzt, wobei störende Volumina in Form von Gebäuden oder Stützmauern noch nicht berücksichtigt werden. Zur genaueren Berechnung sind die zumindest Gebäudekubaturen ein sinnvolles ergänzendes Detail.



Abbildung 19: Bamberg LOD3 vor und nach „Regnitzhochwasser“ [Eigene Darstellung]

Für besonders zu schützende kommunale Objekte wie Stromversorgung, Verwaltung, Krankenhäuser und andere, ist die Zuhilfenahme von 3D-Daten sinnvoll, um detaillierte Einsatzpläne zu erstellen und auch um die Situation vor Ort festzuhalten. Beispielhaft sei hier nur die Höhe des Gebäudes zu erwähnen, auf die die Feuerwehr sich einzustellen braucht, um effektive Rettungsmaßnahmen durchführen zu können. Auch kann die Visualisierung von markanten Gebäuden in der Stadt (Points of Interests, Landmarks) eine bessere Orientierung von Rettungskräften vor Ort bewirken.

Detaillierung für besondere Gebäude

Grundsätzlich bedeutet die bislang unbekannte Einbeziehung der dritten Dimension in Analysen nicht nur für den Katastrophenschutz einen enormen Vorteil für die Geodatenstruktur vor Ort. Jeder Benutzer kann die räumliche Situation vielmehr besser erfassen und aufgrund dieser Basis viel intuitiver und schneller Entscheidungen treffen. Auch lassen sich im präventiven Bereich die Trainingsszenarien eindringlicher darstellen.

Als Ausblick, der vor allem für Rettungskräfte interessant ist, ist die Integration von 3D-Daten in Location Based Services (LBS) hervorzuheben, wodurch das Routing von weiteren, oftmals ortsfremden Einsatzkräften effektiver gestaltet werden kann, bzw. auch nachgeordnete Informationen direkt vor Ort verfügbar gemacht werden können.

Location Based Services

2.3.10 Telekommunikation

Bei der Planung von Funknetzen, etwa für die Aufstellung neuer UMTS-Sendemasten oder auch für die Gestaltung der Netzausbreitung von WLAN, ist es wichtig, ein 3D-Modell der Umgebung zu besitzen, in der die bereits aufgestellten Sender registriert sind. Durch die Stellung von Gebäuden, in engen Straßenschluchten oder durch bewegte Topografie kann es zu so genannten Funklöchern kommen, die für den Anwender zum Ausfall des Netzes bzw. des Dienstes, auf den er angewiesen ist, führen.

Attributierung von Oberflächen

Für die Computersimulation der Funkwellenausbreitung benötigt man als aufgenommene Attribute die Form, das Material und die Rauigkeit der Oberflächen der Gebäude. Weiterhin müssen für die ungestörte Ausbreitung der Funkwellen im GHz-Bereich die Dachkanten mit hoher geometrischer Genauigkeit bekannt sein. Oftmals wird in der Praxis heute noch mit empirischen Modellen von ungenügender Genauigkeit gearbeitet, so dass teilweise verfälschte Ergebnisse erzeugt werden [Müller 2000].

Als mögliche Software zur Simulierung dieser Ausbreitung könnte das System CORLA (Cube Oriented Ray Launching Algorithm) eingesetzt werden. Hierbei werden auf der Basis eines Quadermodells Reflexions- und Beugungsquellen identifiziert und berechnet. Der verwendete Algorithmus berücksichtigt darüber hinaus verschiedene Antennenmuster und die Gebäudedurchdringung des emittierten Signals [TNC 2003].

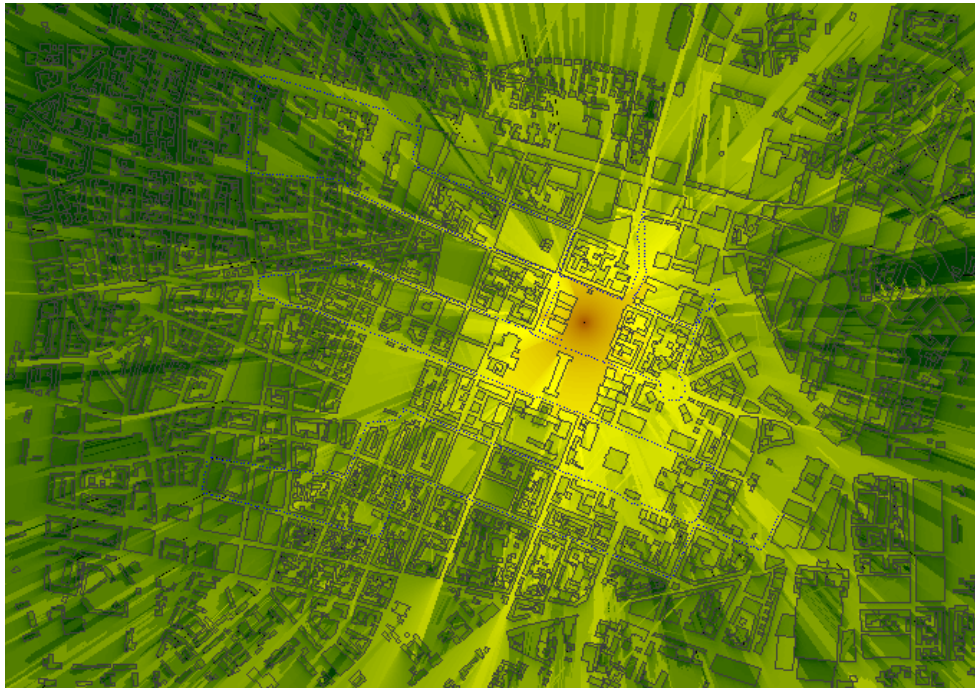


Abbildung 20: Konzentrische Funknetzabstrahlung und Verdeckungsgebiete [TNC 2003]

2.3.11 Tourismus

Neue Marketingformen

Tourismusdestinationen stehen im großen Konkurrenzdruck zueinander. Beim verstärkten Werben um potenzielle Urlauber, werden immer neue Werbe- und Darstellungsformen gesucht, um das vorhandene kulturelle, naturräumliche und infrastrukturelle Potenzial möglichst attraktiv zu gestalten [Nischelwitzer, Almer 2000]. Internetportale der Tourismusämter sind eine erste und mittlerweile vielfach verwendete Werbemöglichkeit. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass der Reisende heutzutage viel individuellere Reisewünsche artikuliert und dass für jede Zielgruppe ein ganz bestimmtes Angebot an Attraktionen vorhanden sein muss, die dementsprechend vermarktet werden können.

Einsatzfelder

Grundsätzlich sind im Tourismusbereich vier Einsatzfelder von 3D-Stadtmodellen zu unterscheiden:

- Das Modell als Werbemedium im Internet oder auf CD-ROM, um im Vorfeld auf einen geplanten Aufenthalt zu informieren und
- Das Modell als stationäres Informationssystem mit Möglichkeiten der Augmented Reality, das heißt der Überblendung von Realität und virtuellen Gebäuden oder Personen an bestimmten historisch interessanten Plätzen,
- Die Möglichkeit von Mobile Location Services (MLS), sprich den interaktiven Reiseführer auf einem Handheld oder
- Das Modell als mobiler, interaktiver Reiseführer auf einem mobilen Handgerät, der die Möglichkeit anbietet, georeferenzierte Nachrichten und Informationen über Location Based Services (LBS) zu beziehen.

Nicht nur bei Aktivitäten im Outdoorbereich [*Nischelwitzer, Almer 2000*] bedeutet die Darstellung von Spaziergängen in 3D oder die virtuelle Navigation durch eine Landschaft eine wichtige Information; auch im Bereich von Städtereisen kann so schon ein erster Eindruck von der geplanten Reise entstehen. Wichtig ist hierbei, dass nicht nur das 3D-Modell dargestellt wird, sondern, dass auch zusätzliche Informationen z.B. über Hotels, Restaurants oder auch Öffnungszeiten auf dieser Navigationsebene abgerufen werden können. Durch diesen ermöglichten spielerischen Umgang mit den Informationen und die damit verbundenen, positiven Assoziationen mit dem Reiseziel könnten ganz neue Vermarktungsmöglichkeiten erschlossen werden.

3D- Navigationssysteme

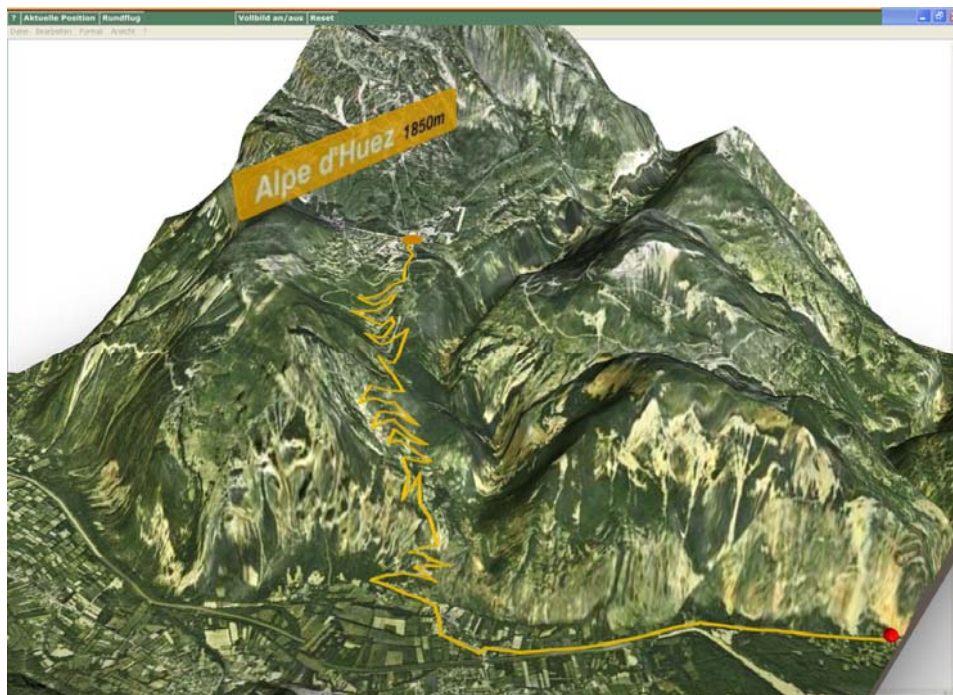


Abbildung 21: Interaktives Modell mit Positionsanzeige für die Visualisierung der 8. Tour de France Etappe 2003 von Sallanche nach Alpe d'Huez. Eingesetzt wurde für die webgestützte Visualisierung die „Viewpoint-Model“- Technologie [*MagicMaps 2003*]

Prinzipiell gilt, dass jegliche neue Form der Darstellung, die eine Stadt touristisch erfolgreich vermarkten kann, ein interessantes Marketinginstrument darstellt. Deshalb wird der Bedarf an 3D-Stadtmodellen vor allem auch im Bereich des

Tourismus weiter anwachsen. Internetgestützte Informationen bezüglich eines potenziellen Reisezieles sind schon heute neben gedruckten Katalogen die wichtigste Informationsquelle für Reisende. Mit Hinblick auf Informationsverfügbarkeit und Marketing bieten gerade bei globalen Großereignissen wie Olympiade oder Fußballweltmeisterschaft dem User zu jeder Tageszeit und an jedem Ort der Welt die gleiche, gut aufbereitete und kostengünstige internetgestützte Information.

Für die erste Orientierung innerhalb einer Stadt sind 3D-Stadtmodelle, auch am heimischen PC, sehr gut geeignet. Im Rahmen des vorliegenden Projekts hat ein Mitarbeiter, der Bamberg zuvor noch nicht besucht hatte, mehrere Straßenzüge mit Texturen versehen und das so entstandene Modell getestet; er erkannte die markierten Straßen sofort wieder, und konnte sogar ohne jemals zuvor vor Ort gewesen zu sein, zumindest grobe Navigationsanweisungen geben.

Je nach Aufwand, Zeit und kapitalen Ressourcen müssen Zielvorstellungen seitens der Tourismuszentralen vorgegeben werden, ob sie komplette LOD2-Modelle benötigen, oder ob eventuell eine Kombination aus grob gerasterten LOD1 und der differenzierten Ausgestaltung von bedeutenden Sehenswürdigkeiten (Points of Interests – POI) ausreichend ist. Wichtig jedoch ist hierbei, dass zu den jeweiligen Attraktionen auch Inhalte wie Öffnungszeiten, Eintrittspreise, Kartenschalter, kurze Schlagworte zu den jeweiligen Einrichtungen aktuell und jederzeit verfügbar sind.

Mobile Location Services

Weitere interessante Features wären zum Beispiel Adresssuche, (ermöglicht über Datenbankabfrage), Routenplanung von A nach B innerhalb der Stadt oder das Einzeichnen von Stadtrundgängen innerhalb des 3D-Modells. Neben der Betrachtung am Desktop-PC würde sich, bedingt durch die rasante Entwicklung im Bereich der Mobile Devices, die Möglichkeit ergeben, das Stadtmodell als interaktiven Stadtführer komplett auf das Handheld aufzuspielen. Diese Mobile Location Services bieten über Mobilgeräte den Zugang auf maßgeschneiderte Informationen für den Anwender; sie haben einen Raumbezug, müssen aber nicht mit dem Standort des Nutzers zusammenhängen [Baldegger 2002]. Die Lokalisierung erfolgt in der Regel durch Handeingabe. Beispielhaft hierfür sind interaktive Webkarten oder Routenplaner zu nennen, die über GPRS-Schnittstelle Informationen auf das Handheld übertragen. Generell sind also alle Informationen auf einem Handheld, die einen Karten- und/oder geografischen Datenbezug haben, als MLS zu bezeichnen. Bei Veralterung des Datenbestandes kann dieser durch ein Update aktualisiert werden. In diesem Zusammenhang wäre auch eine Lösung möglich, die im Vorfeld des Besuches alleinig die Installation des 3D-Stadtmodells im Rohformat erfordert, auf das bei einem späteren Besuch, die in einer aktuellen Datenbank vorgehaltenen Inhalte immer neu aufgespielt werden.

Location Based Services

Als Zukunftsvision könnte die Implementierung von Location Based Services (LBS) in ein 3D-Stadtmodell angedacht werden. Anders als MLS-Systeme stellen LBS auf den jeweiligen aktuellen Standort eines jeden Anwenders zugeschnittene Informationen bereit und ermöglichen eine Echt-Zeit-Navigation. [Baldegger 2001]. Voraussetzung hierfür ist allerdings ein Endgerät (Location aware device), das entweder seine Position selbst bestimmen kann oder sie von einem Dienst erhält. LBS werden auf Anfrage zur Verfügung gestellt. Durch eine Funkzellenortung eines Mobilfunkbetreibers oder Nutzung der NMEA-Schnittstelle eines GPS-Empfängers [Enichlmaier, Staufer-Steinocher 2002, Sayda, Reinhardt, Wittmann 2002] kann die Position im globalen WGS84-System einwandfrei ermittelt werden. Zum einen kann so der exakte Standpunkt

innerhalb des 3D-Stadtmodells mit dem realen Standpunkt synchronisiert werden, zum anderen können adressenbezogene, dem Objekt eindeutig georeferenzierte Informationen bezogen werden. Dieses Einsatzfeld, nämlich die Verknüpfung von LBS und 3D-Stadtmodellen muss allerdings noch genauer erforscht werden [HS Rapperswil 2004, Pammer, Radoczky 2002].



Abbildung 22: Interaktive Karte mit GPS-Anbindung zur Orientierung und Navigation [Magic Maps 2003]

Andere Lösungsmöglichkeiten für die Kombination von LBS und 3D-Stadtmodellen könnten der Einsatz von Mobile Devices und automatischer Aufspielung von Inhalten mittels Infrarotschnittstelle (IrDA) sein. 2002 wurde im UNESCO-Weltkulturerbe Völklinger Hütte eine solche Lösung getestet, bei der multimediale und ortsbezogene Inhalte automatisch bei Erreichen eines so genannten Beamsports auf ein mobiles Handgerät übertragen werden [eyeled 2002].

Infrarot- Beamsports



Abbildung 23: Infrarotsender und Infrarot Bake für Positionsbestimmung [eyeled 2002]

Vorteil bei diesem System ist, dass nicht unbedingt eine komplette zentrale Serverstruktur angebunden sein muss, sondern die Information kann von einem Sender vor Ort erfolgen. Dies kann aber auch ein Nachteil sein, da jeder „Betreiber“ eines solchen Beamsports für die Inhalte eigenverantwortlich wäre und somit die Seriosität der Inhalte nicht überprüft werden könnte. Andererseits besteht bei diesem Geschäftsmodell die große Chance, dass sich der Aufbau eines 3D-Stadtmodells durch Abgaben des jeweiligen Content- Providers weitgehend selbst finanzieren ließe.

2.3.12 Game-Engines und Echtzeit-Viewer

Stadtmodelle als Grundlage für die Erstellung von Elektronikspielen

Im Zuge der Recherche zu 3D-Stadtmodellen kam als Anwendungsfeld immer wieder der Hinweis, dass ein solches Modell auch als Grundlage für ein Elektronikspiel benutzt werden könne [Koppers 2002]. Hier wird ein 3D-Stadtmodell aber immer nur als Grundlage für die Erstellung von Spielszenarien gesehen. Points-of-Interests und Landmarks sollten in den Spielen einen möglichst hohen Wiedererkennungswert besitzen; Flugsimulatoren beschränken sich meist nur auf diese Landmarks und der Sicht von oben, Häuser besitzen oftmals nur Flachdächer. Teilweise wird in der Literatur [Koppers 2002] auch erwähnt, dass man mithilfe von Ego-Shootern Visualisierungen nicht nur in Innenräumen, sondern auch im Außenbereich durchführen könne.

Echtzeitpräsentation von Architektur Modellen

Die beherrschende Fragestellung bei der Erstellung von 3D-Stadtmodellen ist die der Präsentation der erzeugten Strukturen in Echtzeit. Momentaufnahmen (Stills) des Modells oder gerenderte Filmsequenzen sehen zwar gut aus, das interaktive Erleben des Stadtraumes, zum besseren Verständnis der Planungsaufgabe, bzw. das aus jeder Perspektive mögliche Betrachten eines Gebäudes, funktioniert mit den oben beschriebenen Techniken nicht. Deshalb wurde im Projekt 3D-Bamberg versucht, Stadtmodelle neben der Visualisierung mithilfe von klassischen VR- Techniken wie VRML, auch neue Techniken wie Quest3D oder Spiele- Engines/ Ego-Shooter, auf ihre Einsatzfähigkeit hin zu testen.

Erste architektonische Modellierungsversuche mit Ego-Shootern zur Darstellung von Entwurfsgedanken bzw. zur Rekonstruktion der realen Welt wurden beispielsweise 2002 an der Universität Siegen erprobt. Hierbei ging es allerdings nur um die Bauaufnahme des dortigen unteren Schlosses und die anschließende Integration und Präsentation mithilfe des Ego-Shooters [lab42 2002].

Die Darstellung realer Welten, sprich die Präsentation von 3D-Stadtmodellen, erzeugt aus real existierenden kommunalen, georeferenzierten Geodaten, wurde bislang noch nicht getestet. Im Zuge dieses Projektes wurde für die spätere Präsentation von 3D-Stadtmodellen ein besonderer Fokus auf diesen Einsatzbereich gelegt. Erste Testergebnisse konnten so schon im Februar 2003 präsentiert werden [siehe hierzu CORP-Beitrag von Poesch, Schildwächter, Zeile 2004].

Testspezifikationen

Grundlage für die spätere Integration in Game-Engines ist das Testen der einzelnen Engines unter den folgenden Aspekten:

- Verfügbarkeit eines offenen, allgemein zugänglichen Editors
- Problemlose Integration von 3DS, DXF, MD2 oder X-files
- Umgang mit eingelesenen Datengrößen
- Editierbarkeit des vorhandenen Modells
- LOD- Möglichkeiten
- Bedienungsfreundlichkeit
- Möglichkeit der Integration von Interaktionen
- Zugriff auf externe Daten (-banken)
- Allgemeine Größe des Modells
- Darstellungsqualität
- Kosten für den gewerblichen Einsatz

Für den Test kamen neben kommerziellen 3D- Game- Engines auch Open-Source- Game- Engines in Betracht. Weiterhin wurden auch Echtzeit- Viewer- Programme in die Betrachtung miteinbezogen. Problematisch war in diesem Zusammenhang allerdings die Tatsache, dass von einigen, in der Fachpresse gelobten Applikationen keine Teststellungen ausgesendet wurden. Der Vollständigkeit halber werden sie hier an dieser Stelle trotzdem erwähnt.

Folgende kommerzielle 3D- Game- Engines wurden getestet:

- Unreal 2 – Engine
- Half-Life – Engine
- Quake 3 – Engine
- Morrowind 3 – Engine
- Cry-Engine

Getestete Produkte

Folgende Open- Source- Game- Engines wurden getestet:

- Irrlicht Engine – OpenSources

Als Echtzeit-Viewer wurden getestet:

- VRML
- W3D
- Quest3D

Folgende Echtzeit-Viewer wurden mangels Teststellung nicht getestet:

- Terrain View
- G-Vista

Die Engines wurden alle in frei erhältlichen Demo-Versionen getestet. Der Unterschied besteht allein im Umfang der mitgelieferten Levels. Dieser, teilweise subjektiv geführte Test berücksichtigte vor allem die Parameter der Benutzerfreundlichkeit, der problemlosen Integration und der Kosten. Erst im Laufe der Tests wurde klar, dass zwar alle kommerziellen Engines im Privatgebrauch kostenlos benutzt werden dürfen; aber bei Einsatz für kommerzielle Zwecke, sei es auch nur eine Werbe- CD, fallen Lizenzierungskosten von über 100.000 US Dollar an. Durch diesen Knock- Out-Fact wurde im weiteren Verlauf des Projekts auf kommerzielle Lösungen verzichtet. Die nachfolgenden Ausführungen sollen trotzdem verdeutlichen, welches großes Potential in diesen Techniken steckt. Bei einer anderen offenen Preispolitik könnten die kommerziellen Game- Engines weitere Märkte als nur die der Unterhaltungsindustrie erschließen.

**Preispolitik
kommerzieller
Anbieter**

Alle Tests wurden im Rahmen des Projekts von T. Poesch durchgeführt [*3D-4D-Stadtmodelle 2004*] und im Rahmen des CORP- Symposiums 2004 veröffentlicht [*Poesch, Schildwächter, Zeile 2004*].

Unreal 2 wurde 2002/ 2003 als Nachfolger der Unreal Engine von Digital-Extremes und Epic- Games entwickelt [siehe hierzu auch *Sweeney 1999*]. Diese Engine besticht durch ihre enorme Leistungsfähigkeit in den Bereichen des Detailreichtums (auch hier spricht man von LOD; im Gegensatz zu den Stadtmodell- LOD ist hier die *LOD der Informatik* gemeint) und die der Geschwindigkeit und Performance der Datenverarbeitung. Weiterhin sind alle gängigen Rendering-Verfahren wie „Advanced Ray-Tracing©“, Photon-Tracing© und DTL© (Dynamic Texture and Lightning) in die Engine integriert. In den

**Unreal 2 und
UnrealED ©**

UnrealED ist weiterhin eine hochrealistische Physik-Engine, die unter anderem Erdgravitation simuliert, integriert.

Editierbar ist die Unreal Engine zum Beispiel mit dem den Spielen beigefügten „Unrealeditor ©“, der kostenlos im Netz unter www.golem.de/0310/28010.htm für nicht kommerzielle Zwecke verfügbar ist. Im Vergleich zu anderen Engine-Editoren ist er sehr bedienfreundlich. Dadurch wird dem User ein schneller Einstieg in das „Modellbuilding“ ermöglicht. Bei komplexen Modellen, wie 3D-Stadtmodelle, sind umfangreiche Programmier-, als auch Kenntnisse aus dem Bereich des Rendering und Shading erforderlich.

Die Exportmöglichkeiten sind im Gegensatz zu den Importmöglichkeiten voll ausreichend: viele gängige Formate (.obj, .stl, .t3d, etc.) können für den Datenexport ausgewählt werden, allerdings wird grundsätzlich nur das eigene Grundformat für den Import akzeptiert. Es gibt aber zahlreiche Tools und Plugins im Internet die einen unproblematischen Datenaustausch mit zahlreichen Programmen ermöglichen.



Abbildung 24: Integration des 3D-Stadtmodells in Unreal2, Situation Grüner Markt, links barocke Kirche St. Martin [Eigene Darstellung]

Quake 3

Die Quake 3 Engine wurde 1999 für das Computerspiel Quake 3 entwickelt [IDSoftware 2003]. Ähnlich wie die Unreal-2-Engine kann auch diese Engine sehr hohe Datenmengen verarbeiten und dadurch aufwendig detaillierte Welten abbilden. Neu bei dieser Engine war, echte Rundungen ohne Triangulation darzustellen. Weiterhin wurden neue Licht- und Schatteneffekte realisiert. Als Editor muss zusätzlich der Quake 3 Radiant© installiert werden, der umfangreiche Funktionen und Einstellungsmöglichkeiten besitzt, aber auch gleichzeitig sehr hohe Programmieranforderungen an den Benutzer stellt.

Im direkten Vergleich zur Unreal 2 Engine ist sie bei weitem unübersichtlicher und wesentlich benutzerunfreundlicher. Die erzeugten Ergebnisse unterscheiden sich nur unwesentlich im qualitativen Bereich.

Die Import- und Exportmöglichkeiten sind ohne Import/Export-Plugin sehr begrenzt. Umgehen lassen sich diese Probleme mit Zusatzprogrammen wie Quick3D oder Deep Exploration.

Die Half Life Engine kam 1997 mit dem gleichnamigen Spiel Half-Life auf den Markt [Sierra 2004]. Auf Grund ihres Alters hat sie nur wenige und bescheidenere Darstellungsmöglichkeiten im Vergleich zu anderen Engines. Wegen der großen Anwenderbreite sind allerdings eine Menge Updates/Upgrades und so genannte Add-Ons entwickelt worden, die völlig neue Ergebnisse ermöglichen und so qualitativ hohe, denen der High-End-Engines fast ebenbürtige, Ergebnisse liefert. Editierbar ist die Engine mit Zusatzprogrammen wie dem Half-Life-Worldbuilder©, der relativ benutzerfreundlich ist, und sehr viele Einstellungsmöglichkeiten bietet. „Photorealistische Welten“ kann man allerdings nicht erschaffen. Die Import/Exportmöglichkeiten programmseitig sind beschränkt; wenngleich es eine große Anzahl an Tools und externen Import/Exportfiltern gibt. Der Einsatzbereich beschränkt sich auch hier wieder auf den rein stationären Einsatz.

Half Life

Die Morrowind-3-Engine ist verhältnismäßig jung und kam 2002 mit dem Spiel „The Elder Scrolls 3©“ auf den Markt. Ihre Vorteil beruht in der Fähigkeit, riesige virtuelle Welten zu ermöglichen, die gleichzeitig einen hohen Detailreichtum aufweisen. Der Einsatzbereich wird allerdings durch die stark eingeschränkten Import/Export-Möglichkeit verringert. Auch ist die Engine sehr schwer zu bedienen, da nur vorgefertigte Polygonmodelle benutzt werden können. Um eigene Modelle zu entwerfen werden umfangreiche Engine- und 3D-Modellingkenntnisse benötigt. Im übrigen ist der dem Spiel beigefügte „TES-Editor©“ recht unübersichtlich [RPGPlanet 2004]. Zusammengefasst erfüllt diese Engine fast alle gängigen 3D-Standards und bietet sehr hohen Detailreichtum, was allerdings wieder einem webgestützten Einsatz entgegensteht.

Morrowind Engine
/TES Konstruktion Set
©

Die CryEngine wurde für das im Jahr 2004 erschiene Spiel Far Cry von der Firma CryTek aus Coburg entwickelt. Diese in den Darstellungsoptionen und Manipulationsmöglichkeiten revolutionäre Engine bietet Echtzeit-Veränderung, Bump- Mapping, statische Lichtquellen, Shader, Schatten, Netzwerksystem, integriertes Physiksystem, und ein dynamisches Musiksystem [FarCry 2004]. Der erste Eindruck bestätigte diese hervorragend ausgestalteten Optionen auch. Mithilfe des Far Cry Editors [Ubisoft 2004] können komplette Spielszenarien erstellt und manipuliert werden. Gängige Importformate (wie 3DS, DXF) waren zwar angekündigt, aber bis dato noch nicht verfügbar. Sobald die Integration dieser Daten möglich ist, könnten hiermit die qualitativ besten Ergebnisse für die Präsentation von 3D-Stadtmodellen erzielt werden.

CryEngine

Die Irrlicht Engine hat gegenüber den oben genannten Lösungen den Vorteil, dass sie komplett in C++ geschrieben und als Open Source Software für jedermann kostenlos erhältlich und nutzbar ist [Gebhardt 2002]. Qualitativ kann die Engine in der Darstellung mit den kommerziellen Anwendungen nicht ganz mithalten. Da die Engine vor allem für die Visualisierung von Innenräumen konzipiert worden ist, entstehen an Bildrändern perspektivische Verzerrungen, die aber den Gesamteindruck nicht wesentlich beeinträchtigen. Ein immenser Vorteil der Engine ist, dass in 3D-Modellern konstruierte Szenen komplett mit Texturen übernommen werden können. Gängige Importformate sind Maya OBJ, 3DStudio 3DS und Microsoft DirectX X-Files. Die texturierten Bilder in den

Irrlicht Engine

Formaten BMP, PSD oder JPG werden ebenfalls problemlos übernommen. Zu beachten ist dabei, dass Texturen nur eine bestimmte Größe besitzen dürfen, da sonst die Performance im Gegensatz zu den kommerziellen Lösungen wie Unreal2 erheblich beeinträchtigt wird. In der Testphase stellte sich die Integration des DirectX-Formats in die Engine als die praktikabelste, weil fehlerlose Lösung heraus. Bei anderen Importformaten wurden Probleme mit der Beleuchtung, dem Verrutschen der angepassten Texturen und der georeferenzierten Zuordnung festgestellt. Datenbankverbindungen sowie triggerbasierte Ereignisse wie das Austauschen eines Hauses sind aufgrund der offenen C++ Schnittstelle mit etwas Programmierkenntnis problemlos zu bewerkstelligen.

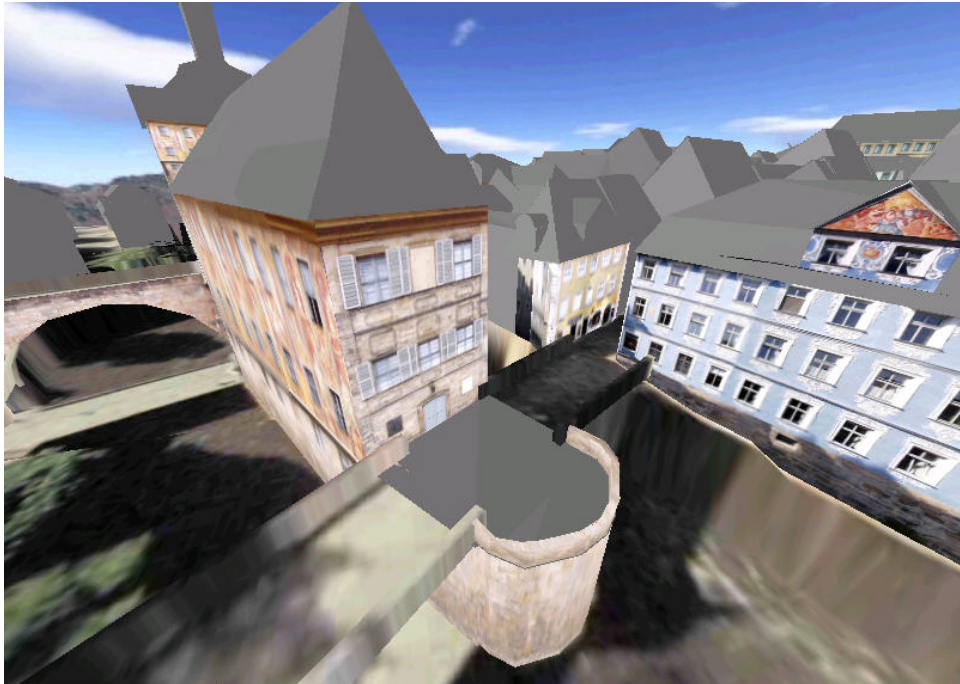


Abbildung 25: Integration des 3D-Stadtmodells Bamberg in die Irrlicht Open Source Engine, Situation Brückenrathaus [Eigene Darstellung]

VRML

VRML ist eine Seitenbeschreibungssprache ähnlich wie HTML, die allerdings keine Hypertextdokumente enthält, sondern Beschreibungen dreidimensionaler Geometrien beinhaltet. Der Vorteil von VRML ist, dass man Inhalte browsergestützt mittels Plugin betrachtet werden können. Weiterhin unterstützen alle gängigen 3D-Modeller dieses Format und es kann leicht inklusive Texturen exportiert werden. Kleinere Modelle mit einer Größe von bis zu 1MB werden problemlos angezeigt, virtuelle Walkthroughs in Echtzeit über das Internet sind möglich [*CubicCity 1999*].

Bei größeren Mengen an Vektorinformationen innerhalb einer VRML-Szene reichen die Rechnerkapazitäten nicht aus. Mappings sind hierbei nicht mehr möglich. Eine komplette Stadtmodellszene, ungefähr 14MB groß, kann nicht mehr fehlerfrei und flüssig dargestellt werden. VRML scheidet somit als Visualisierungstool für komplexe 3D-Stadtmodelle aus.

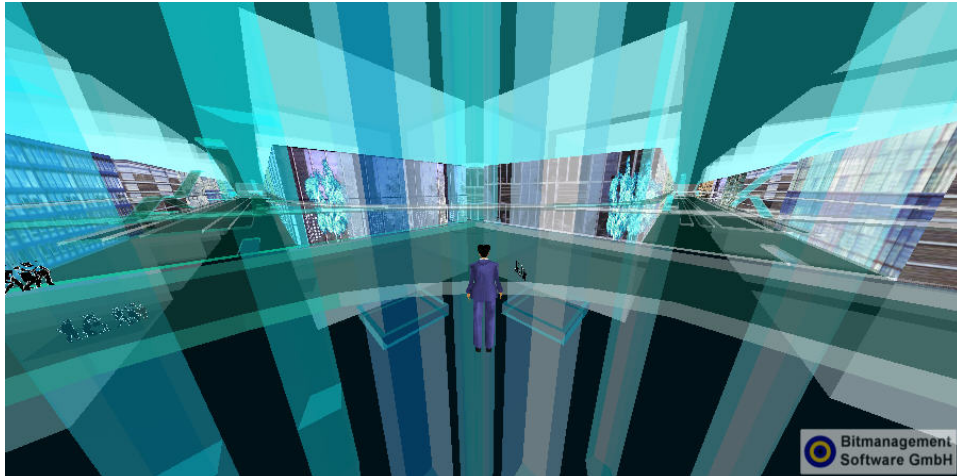


Abbildung 26 VRML-Szene aus Cubic City, Visualisierung eines Stadtmodells, Größe der VRML-Datei 768 KB, VRML Plugin von *Bitmanagement Software* [Eigene Darstellung]

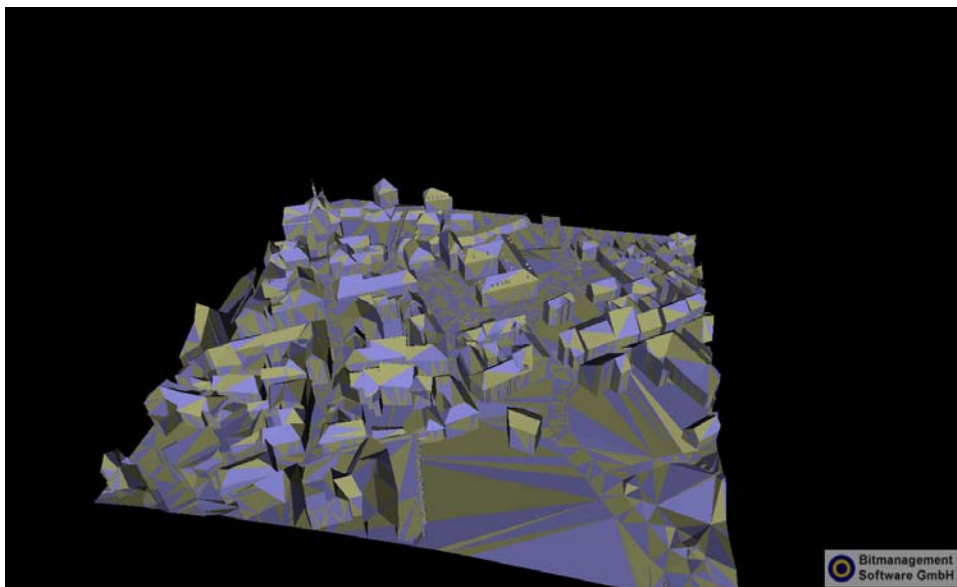


Abbildung 27: 3D-Stadtmodell Bamberg in VRML, Navigationen innerhalb des Modells aufgrund großer Datenmenge nicht möglich [Eigene Darstellung]

Das W3D-Format wird von Macromedia Director als Dateiformat für die Darstellung von 3D-Szenen verwendet. Mit Hilfe von in 3D-Modellen integrierten Plugins können W3D-Dateien mühelos erstellt werden. Mittels des weit verbreiteten Shockwave Plugin können die Szenen im Browser angesehen werden und auch per Streaming- Prozess über Client- Server Kommunikation in Teilstücken visualisiert werden. Für die Grafikdarstellung werden die OpenGL und DirectX Hardware unterstützt. Allerdings unterstützt das Shockwave Plug-In keine Schattenmaps; Schattenwürfe müssen per Textur simuliert werden. Weiterhin komprimiert das W3D- Format die vorhandenen Vektoren bzw. reduziert um einige Knotenpunkte, so dass einzelne Formen nicht original getreu dargestellt werden, bzw. an Schnittpunkten Löcher in der Fassade entstehen.

W3D

Quest3D

Quest3D ist eine Virtual Reality Software, die verhältnismäßig einfach zu bedienen ist und darüber hinaus eine hohe Anzahl von Polygonen (über 1,5 Mio.) handhaben kann. Das Programm an sich ist kein 3D-Modeller, sondern ähnlich dem Quicktime oder AVI – Format eine Container Lösung, in die die Inhalte integriert und zusammenmontiert werden. Trotzdem verfügt das Programm über Features wie Lichtquellen setzen, Texturierungsoptionen mit LOD-Fähigkeiten über die MipMap- Technik sowie Nebeldarstellung. Weiterhin kann man Datenbanken anknüpfen, triggerbasierte Ereignisse (z.B. Austausch von Objekten) einbauen und vieles andere mehr. Die Dateien sind exportierbar als Windows-Executable oder als HTML-Streaming [[Quest3D](#)]. Importierbar sind die Dateien als DXF, 3DS oder X-Files, die Texturen werden dabei übernommen. Als Visualisierungstool für ein 3D-Stadtmodell hat sich im Laufe des Projektes herausgestellt, dass sich hiermit und mit der Irrlicht Engine die vom Aufwand und den Kosten her besten Ergebnisse erzielen lassen.



Abbildung 28: In Quest3D durch X-Files generiertes 3D-Stadtmodell, Blick über das Brückenrathaus in Richtung Dom [Eigene Darstellung]

(G-Vista)

G-Vista ist eine Visualisierungssoftware der Geonova AG zur Realisierung Web- oder CD-Rom- gestützter Informations- und Unterhaltungsdienste. In Verbindung mit dem DILAS- Server (Digital Landscape Server) können 3D-Stadtmodelle aufgebaut, verwaltet und automatisch 3D-Szenen aus dem gepflegten Datenbestand heraus generiert werden [[Geonova 2003](#)]. Mithilfe eines Plugins oder einer ActiveX-Komponente können die erzeugten Szenen in einem Browser betrachtet werden [[Noack, Nebiker, Oberli 2002](#)]. Mittels des mitgelieferten Editors G-Scene können Luftbilddaten konvertiert werden, sowie DGM-Daten und auch VRML-Objekte als Geometrien eingelesen werden [[Geonova 2003](#)].

Allgemein lassen sich mit dieser Visualisierungslösung gute Ergebnisse erzielen, vor allem im Bereich der reinen Landschaftsabbildung. Für die Erstellung von

Objekten benötigt man zusätzlich noch CAD und 3D-Modeller. Trotz der ästhetisch ansprechenden Ergebnisse, ist die alleinige Visualisierung eines 3D-Stadtmodells von der Größe des Bamberg 3D-Projekts, auch aus Kostengründen, keine optimale Lösung.

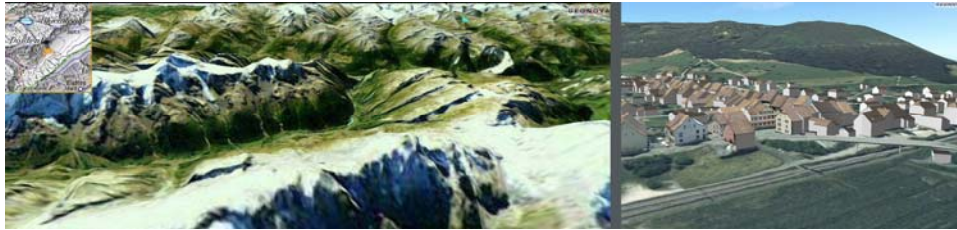


Abbildung 29: 3D-Modelle generiert aus DILAS- Server in Viewer G-Vista [Geonova AG, 2003]

(Terrain View)

TerrainView ist eine Virtual Reality Lösung, mit der sich hochauflösende Geländedaten dreidimensional im Intranet oder Internet visualisieren lassen. Dabei kann sich der Benutzer in einem fotorealistisch dargestellten Geländemodell interaktiv bewegen. Aufgrund moderner und effizienter Datenhaltungskonzepte können zudem sehr grosse Datenmengen in Echtzeit verwaltet werden. Unterschiedliche 3D Formate, 3D Gebäude und Vektordaten versorgen die TerrainView™ Anwendung mit Informationen, um exzellente, qualitativ hochstehende Repräsentationen komplexer Landschaften darzustellen [viewtec]. Als Import stehen alle gängigen Formate wie 3DS, DXF, VRML, LWO, OBJ und einige mehr zu Verfügung. Die Navigation im Modell läuft flüssig und die Darstellungsqualität ist akzeptabel. Allerdings konnte diese Software im Verlauf des Projektes ebenso wie das oben beschriebene G-Vista nicht getestet werden, da keine Teststellungen vereinbart werden konnten.



Abbildung 30: Visualisierung mit TerrainView [ViewtechAG]

Für die Präsentation von 3D-Stadtmodellen sind die oben genannten Software-Applikationen hervorragend geeignet. Abstriche gibt es jedoch in der Anwendbarkeit wegen der erschwerten Integration von Daten und der oftmals hohen Preispolitik der Hersteller. Gerade die Open Source Lösungen und die Virtual Reality Software Quest3D erzielen im Zusammenspiel mit 3D-Modellern zur Texturierung die besten Ergebnisse. Weiterhin sind sie schnittstellenoffen und verhältnismäßig einfach zu bedienen. Die erzeugten Modelle besitzen eine mittlere Dateigröße, Internetpräsentationen sind damit derzeit noch nicht möglich. Der stationäre Einsatz ist allerdings unproblematisch. Somit können 3D-Stadtmodelle in Echtzeit am Rechner erlebt und durchgegangen werden.

Geräte- und Software-
Wertung

Engine	Mesh- Import	Benutzer freundlichkeit	Datenbank-anbindung	LOD	Integration Interkation	Darstellungs-qualität	Kosten
Unreal 2	OBJ, T3D, STL, ASE, 3DS, ASC	gut	nein	ja	ja	sehr gut	hoch
Quake3	ASE, MD2, MD3	schlecht	nein	ja	ja	sehr gut	hoch
Half-Life	FGD	gut	nein	ja	ja	sehr gut	hoch
Morrowwind	3DS, DDS	schlecht	nein	ja	ja	sehr gut	hoch
Far Cry	CGF	sehr gut	nein	ja	ja	sehr gut	hoch
Irrlicht	X, OBJ, 3DS, MD2	(gut)	ja	nein	ja	gut	Open Source
3D-Game Studio	X, 3DS, MDL, MD2, MAP, WAD	gut	nein	nein	ja	gut	niedrig
VRML	VRML	gut	ja	nein	ja	schlecht	Open Source
W3D	W3D	(gut)	ja	nein	ja	schlecht	mittel
Quest3D	X, 3DS, LWO, DXF, OBJ	Sehr gut	ja	ja	ja	sehr gut	mittel
Terrain View	VRML, 3DS, LWO, OBJ,	k.A.	ja	nein	ja	gut	hoch
G-Vista	VRML, ASCII	k.A.	ja	ja	ja	gut	hoch

Tabelle 4: Vergleich von 3D-Game-Engines und Echtzeitviewern als Grundlage zur Entscheidung, welches Produkt im Projekt Bamberg3D eingesetzt wird [Eigene Darstellung]

2.3.13 CAM

Im Laufe des Projekts wurde die Idee geboren, das CAD-Modell auf seine Eigenschaften als Grundlage für die Erstellung von CNC-gefrästen Modellen hin zu untersuchen.

Die Potenziale und die damit verbundene Anwendung des computergestützten Modellbaus in der Architektur und Raumplanung haben vor allem Streich und Weisgerber 1996 erstmalig umfassend beleuchtet. Insbesondere die Vision des Modellbaus auf Knopfdruck für Stadtplaner und Architekten wurde hierbei hervorgehoben [*Streich, Weisgerber 1996*]. Durch den Einsatz von CAD/ CAAD-Systemen können mithilfe geeigneter Schnittstellen und verschiedensten Verfahrensweisen wie 2D-Schneiderverfahren, 3D-Fräsverfahren, Stereolithografie, Lasersintering und vieles mehr, großartige physische Modelle hergestellt werden [*Streich Weisgerber 1996*].

Allerdings stellt sich hier nun die Frage: warum wird überhaupt noch ein haptisches Modell erstellt, wenn schon das virtuelle Modell vorliegt? Zumal die Kosten für die Erstellung immer noch verhältnismäßig hoch sind! Um die Tragweite der Problematik in der Auswahl konkurrierender Modelltypen besser zu verstehen sei zunächst eine kleine Episode geschildert. Im Laufe des Projekts Bamberg-3D wurde am Lehrgebiet cpe ein erstes kleines Modell von Bamberg gefräst. Bei einer Präsentation wurde zum einen das virtuelle LOD2-Modell präsentiert, zum anderen das gefräste Modell mit den Maßen 125x125x80 mm. Das Modell wurde angefasst, gedreht, man diskutierte darüber. Das haptische Erlebnis, das in die Mitte nehmen und Begreifen löst kommunikative Prozesse aus. Streich bemerkte schon 1996, dass die reine Substitution eines Modells durch eingesetzte Virtual Reality Verfahren nicht die kommunikative Funktion eines physisch realen Modells ersetzt [*Streich Weisgerber 1996*]. Demzufolge ist es logisch, dass man versucht, nachdem das virtuelle 3D-Modell nun schon besteht, durch vergleichsweise kostengünstige Verfahren haptische Modelle zu erzeugen.

Durch die technische Weiterentwicklung im CAD-Bereich und der damit einhergehenden immer größer werdenden Annäherung von CAD und GIS-Systemen, können nun auch in CAD- Systemen relativ einfach Geländemodelle erzeugt werden, die als Datengrundlage für eine Modellbau-Bodenplatte dienen. Aufwändige Exportoperationen entfallen hiermit.

Interessant könnte ein gefrästes Modell nicht nur für die Vermittlung von Planungen und deren Inhalten sein. Darüber hinaus könnte vom gefrästen

Modell eine Gussform erstellt werden, und dieses, als Marketinginstrument, entweder in Plastik gegossen und in Souvenirgeschäften verkaufen, oder vielleicht in Bronze oder edleren Materialien als UNESCO-Sondereditionen zum Sammeln ausgeben. Vielleicht wäre es auch bei Planungen von Neubaugebieten eine interessante Maßnahme, jedem Grundstückseigentümer ein Modell seines Wohngebietes zu überreichen, in dem er nun wohnt, um eine positive Einstellung zu seinem Wohnumfeld zu erzeugen.

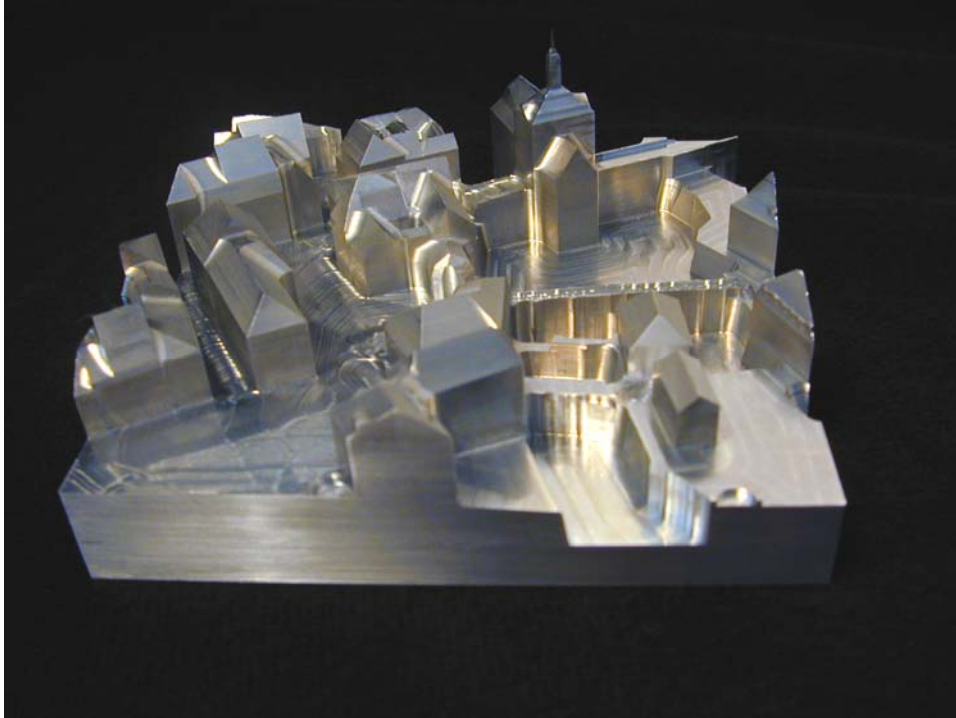


Abbildung 31: Aus Aluminium gefrästes Modell des Brückenrathauses und Umgebung. Anfertigt mit 3-Achs-Fräse in der Metallwerkstatt der TU Kaiserslautern von M.Dunkel. Datengrundlage ist eine Kachel des Bamberg3D- Projektes, konvertiert in das IGES – Format [Eigene Darstellung]

3 UNESCO Weltkulturerbe

UNESCO, die Organisation für Bildung, Wissenschaft und Kultur der Vereinten Nationen, beschloss 1972 die Konvention zum Schutz des Natur- und Kulturerbes der Menschheit. Ausgelöst durch den Bau des Assuan Staudamms und der damit drohenden Zerstörung der Tempelanlagen von Abu Simbel, hatte sich zunehmend die Erkenntnis durchgesetzt, dass das Kulturerbe und das Naturerbe zunehmend von Zerstörung bedroht sind, nicht nur durch die herkömmlichen Verfallsursachen, sondern auch durch den Wandel der sozialen und wirtschaftlichen Verhältnisse, mit sekundären noch verhängnisvolleren Formen der Beschädigung oder Zerstörung [*Bundesgesetzblatt 1977*]. Die Bundesrepublik Deutschland unterzeichnete 1976 die UNESCO-Konvention zum Schutz des Erbes der Menschheit und nahm 1978 als erstes Bauwerk auf deutschen Boden den Aachener Dom in die nationale Welterbeliste auf.



Abbildung 32: UNESCO- World Heritage- Emblem. Es verdeutlicht die Wechselbeziehung zwischen Kultur- und Naturgütern. Das zentrale Viereck symbolisiert eine vom Menschen geschaffene Form, während der Kreis die Natur darstellt; beide Formen greifen eng ineinander. Das Emblem ist rund wie die Erde, zugleich aber auch ein Symbol des Schutzes [*UNESCO Deutschland 2003*].

3.1 Bamberg als Weltkulturerbe

Vorraussetzung für die Aufnahme in die Welterbeliste ist die Erfüllung von mindestens einem aus insgesamt zehn Kriterien, die eine Schutzwürdigkeit repräsentieren. Das historische Zentrum der Stadt Bamberg erfüllt zwei dieser Kriterien und wurde 1993 als Ensemble in die Welterbeliste aufgenommen.

Die Bamberger Stadtstruktur und die dortige Architektur des Mittelalters und der Renaissance übten seit dem 11. Jahrhundert einen starken Einfluss auf städtische Formen und Entwicklungen in übrigen Ländern Zentraleuropas aus (Erfüllungskriterium II). Zugleich repräsentiert Bamberg ein hervorragendes Beispiel einer frühmittelalterlichen Stadt in Zentraleuropa sowohl im Grundriss als auch in seiner Vielzahl erhaltener Gebäude kirchlicher und weltlicher Art (Erfüllungskriterium IV) [*ICOMOS 1993*].

Besonders durch die Monumentalbauten aus dem 11. bis 18. Jahrhundert, einer Synthese aus mittelalterlichen Kirchen und barocken palastähnlichen Bürgerhäusern, sind architekturgeschichtliche Momente lebendig geblieben, die, von Bamberg ausgehend das ganze zentrale Europa inspirierten. Die Baukunst in Bamberg beeinflusste über Mitteleuropa hinaus besonders Ungarn und zeigte auch enge Verbindungen nach Böhmen in der Barockzeit. Durch die naturräumliche Lage auf sieben Hügeln wird Bamberg auch als "fränkische Rom" an der Regnitz bezeichnet, wo es ein Stadtensemble von höchster Rarität bildet [*Baureferat Bamberg*].

Erfüllungskriterien für
UNESCO Welterbe
Aufnahme



Abbildung 33: Historischer Stich der Stadtsilhouette aus dem Jahre 1740 von Johan Georg Ringlin und das heutige Erscheinungsbild – Bamberg Stadt der sieben Hügel [Stadt Bamberg]

Das Stadtensemble Bamberg setzt sich aus drei Siedlungsbereichen zusammen:

- Die Bergstadt mit Dom und Domfreiheit, der ehemaligen Residenz des Fürstbischofs und dem bürgerlichen Gebiet mit der Pfarrkirche "Unserer lieben Frau" und der ehemaligen Häckersiedlung,
- die Inselstadt, definiert durch die beiden Regnitzarme, die im 12. Jahrhundert mit einem Markt und einer vorstädtischen Siedlung gegründet wurde,
- und die Theuerstadt, eine spätmittelalterliche Gegend von Gemüsegärten mit verstreuten Häusern und weitem, offenem Gelände, welche ihren Charakter bis auf den heutigen Tag bewahrt hat.

Historische Siedlungsbereiche in Bamberg

Die weitgehend frühmittelalterliche Stadtstruktur ist noch heute vorhanden, weil die Nutzungen seit Jahrhunderten im Großen und Ganzen bestehen geblieben sind: Der Domberg und weite Gebiete des Berggebietes dienen nach wie vor kirchlichen Aufgaben, die Inselstadt dem Handel und die Gärtnerstadt dem Gemüseanbau. Dank dieser Kontinuität der Nutzung ist auch die städtische Bausubstanz im Wesentlichen viele Jahrhunderte alt und weitgehend original erhalten geblieben [Stadtplanungsamt Bamberg 2003].



Abbildung 34 von links nach rechts: Domherrenhof in der Bergstadt, barocker bürgerlicher Bau der Inselstadt und Reihe von Gärtnerhäusern in der Gärtnerstadt [Stadtplanungsamt Bamberg]

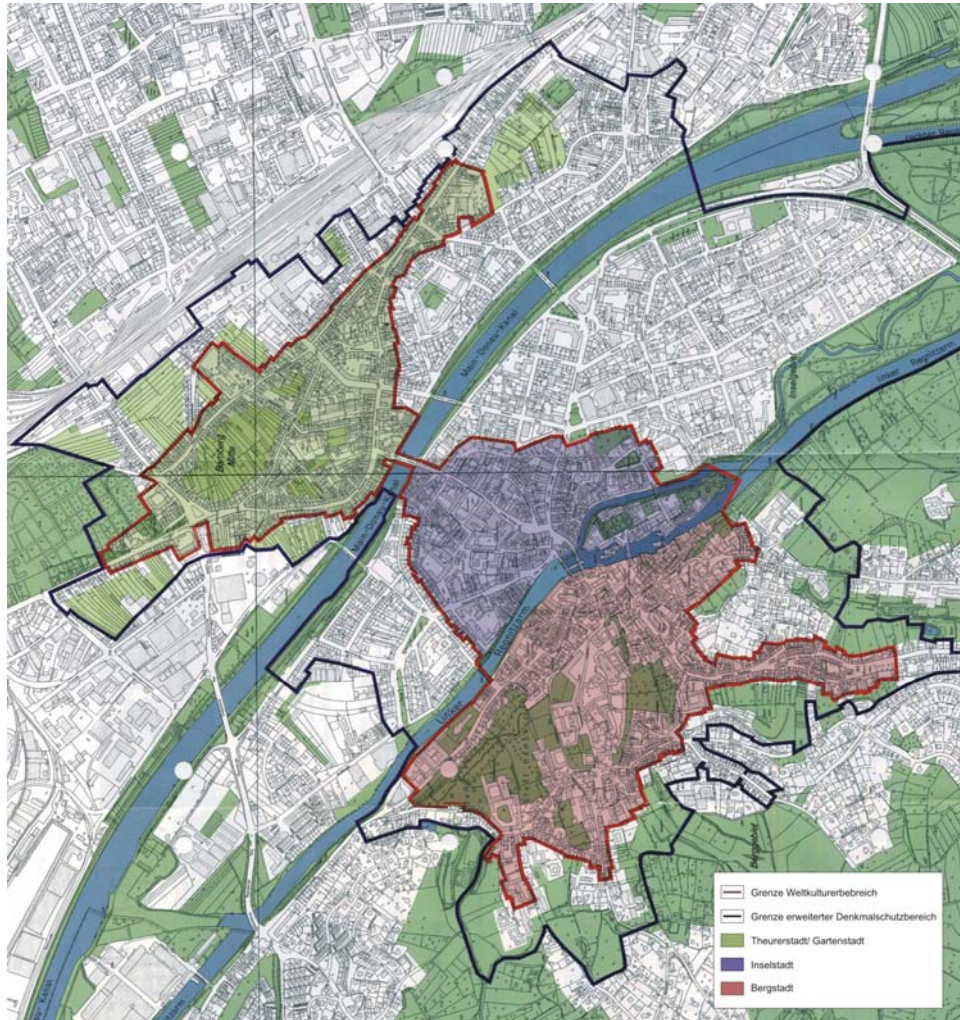


Abbildung 35: Übersichtskarte mit Weltkulturerbe, Grenzen der erweiterten Denkmalschutzzone und den darin abgegrenzten Siedlungsbereichen [*Stadtplanungsamt Bamberg*, mit eigenen Ergänzungen]

4 Projektablauf

Die recht komplexe Projektaufgabe, ein möglichst exaktes und vor allem umfassend einsetzbares Stadtmodell des Weltkulturerbes Bamberg zu schaffen, erforderte eine Projektgliederung in mehreren Arbeitsphasen. Neben der Beschaffung und Erstellung von Datengrundlagen, die sich zu Anfang des Projekts recht zeitintensiv gestaltete, kristallisierten sich allmählich Arbeitsschwerpunkte in der Modellbildung und in der Definition von Anwendungsfeldern heraus.

4.1 Datenerhebung / Grundlagenermittlung

Eine erste Grobgliederung der Datensammlung und –Erstellung erfolgte nach drei Gesichtspunkten:

- Vorhandene Datengrundlage
- Daten, die noch ermittelt werden mussten
- Datenauswahl für das 3D-Stadtmodell

Folgende Datenbestände lagen bereits vor: das DGM des Landesvermessungsamtes im ASCII-Format, georeferenzierte Kanaldeckelmesspunkte als DXF-File, Straßenvermessungspunkte des Stadtplanungsamtes Bamberg im ASCII-Format, digitale Flurkarte als Grundlage für Gebäudekubaturen im DXF-Format, Luftbilder aus mehreren Überfliegungsstreifen die auf ihre Anwendbarkeit in den jeweiligen Arbeitsbereichen überprüft und durch aufzunehmende Daten ergänzt werden mussten

Datenbestand

Fehlende, und damit im Laufe des Projekts aufzunehmende Daten waren klare, vielfältige Bilder der Fassaden im JPG- Format, Höhenmaße der jeweiligen Gebäude von Oberkante Strasse zu Unterkante First sowie eindeutige Gebäude-Identifikationsnummern. Neben diesen Informationen galt es, Baukörper besonderer Bedeutung (Points of Interest) genauer zu vermessen und in einer weiteren Arbeitsphase mit terrestrischen Laserscanaufnahmen zu detaillieren.

Eigene Meßdaten

Weiter benötigt man für die Erstellung des 3D-Stadtmodells noch folgende Arbeitsschritte:

Generierte Daten

- Erstellung des digitalen Höhenmodells (DGM) als Basisplatte für das 3D-Stadtmodell;
- Aufnahme der Gebäudekubaturen und das daraus resultierende Quadermodell;
- Stereoskopische Auswertung der Dachlandschaft;
- Aufbau einer Fassadenbibliothek als Grundlage für das gerenderte Stadtmodell.

Aus diesem Datenbestand war es schließlich möglich, ein umfassendes dreidimensionales Modell des UNESCO- Welterbes Bamberg auf der Basis der nachfolgend beschriebenen Techniken zu generieren [*Schildwächter, Poesch, Wettels, Zeile 2004*].

4.2 Modellbildung

Primäres Ziel dieses Arbeitsschrittes ist die Erstellung des 3D-Stadtmodells als Wireframe-CAD-Datei, die sowohl das digitale Höhenmodell als auch die auf das DGM montierten Gebäudehüllen sowie die mit den Kubaturen verschnittenen Dächer beinhaltet.

Detaillierte Darstellung der Topografie

Im Vergleich zu anderen, einfacher gehaltenen Stadtmodellen ist an das Modell Bamberg-3D aufgrund der räumlichen Lage und der dortigen Topografie von Anfang an die Vorgabe gestellt worden, nicht auf einer idealisierten „platten“ und horizontalen Oberfläche zu arbeiten, sondern vielmehr ein wirklichkeitsgetreues digitales Geländemodell als Grundgerüst zu erzeugen.

Die besondere Problematik dieser Zielvorstellung besteht darin, hinreichend genaue Datengrundlagen im Innenortsbereich zu beschaffen. Die vorhandene Datenbasis des Landesvermessungsamts (DLM) erwies sich hierbei als zu ungenau (50m Raster). Höhenversprünge wie Bruchkanten etc. waren oft nur fragmentarisch zu erkennen und viele Messpunkte lagen überdies auf bebauten Flächen. Dementsprechend waren fehlerhafte Höhenmaße in Bezug auf die reale Situation mit Abweichungen von bis zu 10m vorhanden. Somit waren die vorliegenden DLM- Daten bestenfalls für die Außenbereiche nutzbar. Auf der Grundlage eigens vermessener Straßenzüge (durch das dortige Stadtplanungsamt), in Verbindung mit weiteren stereoskopischen Auswertungen, gelang es schließlich, gesicherte Höhendetaillierungen zu erreichen und somit ein realitätskonformes „Digitales Höhenmodell Bamberg“ zu erzeugen.

4.3 Die Arbeitsabschnitte zur Erstellung des Digitalen 3D-Stadtmodells im Einzelnen

Methodisch wird das 3D-Stadtmodell in 4 Arbeitsschritten erstellt. Als erstes werden die Ausgangsdaten gesammelt und auf ihre Verwendbarkeit hin analysiert und geprüft. Im nächsten Schritt werden die Ausgangsdaten einheitlich dahingehend transformiert, dass sie als Rohdaten für die Erstellung eines 3D-Stadtmodells fungieren können.

First Steps

Nun folgt der eigentliche Schritt der 3D-Stadtmodellbildung. Hierbei werden verschiedene Verfahren zur Erstellung der Wire-Frame-CAD-Datei überprüft. Einerseits erfolgt die komplette Erstellung des 3D-Modells in WS_LandCAD mit anschließender Texturierung in 3DMAX. Andererseits wird die Erstellung mithilfe ArchiCAD, ArchiTerra, dem Stadtmodell-APX V1 und anschließendem Mapping in Maya vorgenommen.

ArchicturalSpace

Beide Ansätze stellen sich im einzelnen zwar als praktikabel dar, jedoch erfordern sie zum einen enorme Hardware-Ressourcen, mit einem immensen Aufwand an Kontrolle und Editierarbeit nach der automatischen Erstellung und zum anderen funktionieren die getesteten Applikationen nicht einwandfrei. Daher wurde im Rahmen einer weiteren Diplomarbeit am Lehrgebiet cpe der TU Kaiserslautern vor dem Hintergrund dieser Probleme eine eigene Software, ArchitecturalSpace [Wettels 2004] in C++ programmiert, die diese Probleme komplett beheben konnte.

Echtzeit Navigation

Nachfolgend wird die Integrierbarkeit der erstellten Daten in einem 3D-Modeller getestet und die daraufhin folgende Integration in Echtzeit- 3D- Viewer wie Spiele – Engines und ähnlichen Produkten vorgenommen.

Daten	Abkürzung	Format	Lage x,y	Höhe h, Genauigkeit	Besonderheit	Vorteile	Nachteile
Vorhandene Meßdaten							
Digitale Flurkarte	DFK	DWG	x	n/a	Beinhaltet ALK	Flächendeckend für Bayern	Grosse Datenmengen, keine Höhen
Kanaldeckelmesspunkte	KMP	DWG	x	X < 1cm			
Strassenmesspunkte	SMP	ASCII	x	X < 1cm			keine 3D-Polylinien
Digitales Höhenmodell (50m Raster)	DGM50	ASCII	x	X < 1cm		Flächendeckend für Deutschland	großes Raster, nicht für bebauten Bereich zu gebrauchen
Luftbilder		analog	x*	x < 5cm	Grundlage für Stereoskopische Auswertung, in Verbindung mit kalibriertem System Lage und Höhengenaue	Schrägaufnahmen für Stereoskopie	Verschattungen, Dachüberstände
Eigene Meßdaten							
Fassadenbilder		JPG	n/a	x theoretisch < 1cm		Grundlage für Fassadenmappings	Bearbeitung in Photoshop zur Erzeugung von „Orthofotos“
Gebäudehöhen analog		TXT	n/a	x < 10cm	manuelle Aufnahme	Überprüfbarkeit des Modells	Hoher Zeitaufwand, nicht auf DHB bezogen
Gebäude-ID	ID	TXT	n/a	n/a	entwickelter Schlüssel aus Gemeindenummer, Straßenschlüssel und Hausnummer	Eindeutige Identifizierung eines Gebäudes DEUTSCHLANDWEIT	
Abgeleitete Meßdaten							
Dachformen		DWG	x	X < 5cm	aus Stereoskopie	exakte Höhen (Toleranzbereich < 2cm)	keine geschlossen 3D-Polylinie, Zeitaufwand, schwierige Technik
Klötzchenmodell (Gebäudehöhe digital)		DWG/ PLN	x	x < 10cm	Eintragen der analogen Gebäudehöhen auf DFK-Grundlage		nicht auf DHB bezogen
Digitales Höhenmodell Bamberg	DHB	DWG/ PLN	x	X < 1cm	alle Informationen vorhanden		
Fluss		DWG	x	x < 10m	Arbeiten mit angenommener Flusstiefe von durchschnittlich 10m zwecks Wiedererkennbarkeit		

Tabelle 5: Auflistung der Meß- und Bilddaten für die Generierung des Modells Bamberg-3D [Eigene Darstellung]

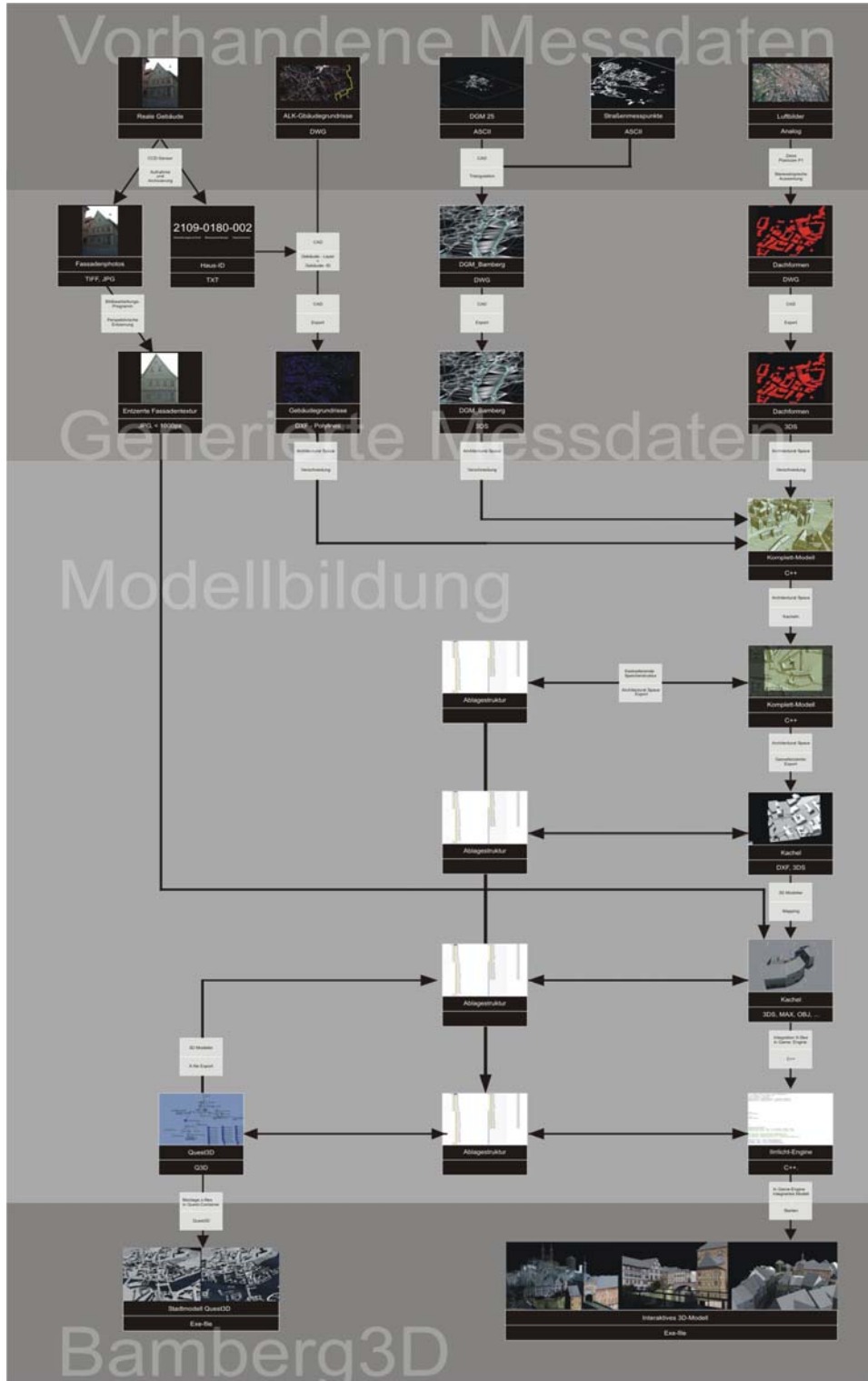


Abbildung 36: Workflow zur Erstellung der Grundlegenden Daten des 3D-Stadtmodells Bamberg [Eigene Darstellung]

Die im beigefügte Workflowdiagramm beschriebenen Arbeitsschritte sind für alle Varianten der 3D-Stadtmodellbildung gleich, wobei immer von den gleichen, einfach erstellbaren Grunddaten ausgegangen wird.

4.3.1 DGM-Erstellung

Die im ASCII-Format vorliegende Datei mit x,y,z-Koordinaten wird mithilfe des DGM-Modellers von WS-LandCAD eingelesen. Es entsteht eine dreidimensionale Punktwolke, die zur Weiterverarbeitung für die Triangulierung benutzt wird.

4419735.69	5527848.43	277.98	4419738.49	5527850.89	4419874.11	5527854.92	287.55	4419887.88	5527874.89	4419733.96	5527792.82	280.25	4419731.41	5527792.86
277.32	4419735.01	5527854.79	277.13	4419734.47	280.99	4419867.08	5527875.73	296.96	4419866.76	280.22	4419725.8	5527790.32	280.92	4419725.41
5527858.6	276.95	4419734.11	5527846.33	277.39	5527875.68	296.95	4419866.44	5527877.85	296.94	5527779.48	280.97	4419726.73	5527778.81	280.99
4419732.03	5527848.34	277.42	4419738.57	5527858.27	4419868.11	5527878.81	296.95	4419867.45	5527878.1	4419734.87	280.77	4419728.53	5527781.81	281.36
278.58	4419732.99	5527858.9	276.83	4419731.27	296.86	4419867.22	5527878.15	296.78	4419871.34	280.8	4419721.43	5527772.66	281.36	4419723.27
5527865.69	276.51	4419728.14	5527868.84	276.39	5527866.78	297.4	4419875.52	5527855.84	297.48	5527774.81	281.4	4419726.82	5527782.23	281.98
4419730.2	5527870.4	276.52	4419728.54	5527882.04	4419875.43	5527852.82	287.49	4419874.04	5527850.93	4419724.15	5527788.35	281.83	4419714.94	5527759.97
275.75	4419734.52	5527881.46	275.81	4419734.23	287.05	4419874.15	5527848.91	297.54	4419873.01	285.15	4419715.4	5527760.81	282.11	4419716.69
5527860.08	276.88	4419733.98	5527881.64	276.82	5527842.21	297.81	4419871.25	5527848.88	297.47	5527780.09	282.12	4419716.39	5527763.13	281.94
4419733.39	5527864.44	276.69	4419732.73	5527867.4	4419868.21	5527844.51	297.45	4419867.12	5527843.95	4419717.49	5527760.95	282.05	4419715.69	5527762
276.54	4419732.85	5527876.3	276.41	4419729.46	287.29	4419869.21	5527845.74	288.87	4419869.51	282.01	4419711.62	5527760.23	282.72	4419709.91
5527875.99	276.15	4419729.54	5527878.91	276.03	5527843.87	299.84	4419868.7	5527869.56	299.26	4419713.08	5527761.88	282.85	4419707.88	5527747.1
4419728.61	5527881.89	275.01	4419727.58	5527894.52	4419868.69	5527867.59	299.35	4419869.26	5527868.87	4419705.9	5527742.38	283.17	4419698.65	5527848.27
275.79	4419728.46	5527892.86	275.67	4419730.35	299.37	4419868.57	5527869.19	298.37	4419868.35	288.49	4419698.52	5527860.03	286.45	4419693.18
5527889.99	275.65	4419724.75	5527891.32	275.5	5527868.06	299.49	4419867.79	5527867.07	298.37	5527860.11	287.98	4419695.12	5527868.0	287.63
4419724.15	5527892.7	275.41	4419721.9	5527893.3	4419868.7	5527869.85	299.26	4419868.69	5527869.39	4419699.9	5527862	288.31	4419699.08	5527863.49
275.29	4419700.05	5527892.42	275.3	4419702.31	299.22	4419863.16	5527869.4	299.21	4419862.81	288.23	4419698.92	552854.89	288.18	4419698.48
5527751.13	283.11	4419700.42	5527751.82	283.15	5527800.41	299.22	4418882.19	5527804.82	299.25	5527856.29	283.1	4419698.01	5527867.69	288.04
4419726.28	5527893.83	283.02	4419704.84	5527892.01	4419863.83	5527868.04	299.16	4419864.94	5527868.07	4419698.81	5527861.86	287.83	4419698.74	5527868.68
282.94	4419705.53	5527753.37	282.66	4419706.22	299.12	4418885.53	5527807.25	289.03	4418885.71	287.82	4419694.67	5527870.01	287.38	4419695.36
5527754.7	282.79	4419706.9	5527758.07	282.74	5527868.73	288.83	4418886.3	5527810.85	288.83	5527867.08	287.54	4419694.29	5527871.8	287.29
4419706.03	5527862.91	282.49	4419707.9	5527862.17	4419882.84	5527824.38	286.43	4419881.36	5527827	4419695	5527868.54	287.46	4419695.08	5527872.91
282.46	4419707.54	5527857.37	282.63	4419712.56	288.34	4419878.8	5527829.83	298.26	4419877.64	287.22	4419691.62	5527873.27	287.25	4419698.97
5527786.78	282.03	4419713.23	5527788.02	281.98	5527808.77	286.13	4419878.84	5527830.37	286.07	5527873.78	287.29	4419692.84	5527878.54	286.91
4419746.13	5527773.27	281.81	4419713.98	5527789.36	4419698.07	5527786.03	283.87	4419697.68	5527734.85	4419687.07	5527868.4	286.68	4419693.03	5527865.19
281.87	4419716.9	5527774.03	281.82	4419714.45	283.03	4419696.13	5527726.11	284.42	4419722.5	286.83	4419691.69	5527865.28	286.58	4419691.92
5527772.03	281.7	4419717.58	5527775.89	281.44	5527885.82	276.03	4419734.93	5527885.04	276.1	5527886.75	286.43	4419691.58	5527888.31	286.4
4419712.47	5527774.77	281.71	4419714.27	5527773.9	4419736.54	5527872.91	276.53	4419738.47	5527873.68	4419689.35	5527897.99	282.95	4419693.74	5527869.02
281.86	4419702.26	5527893.94	281.12	4419702.31	276.49	4419741.27	5527841.24	277.03	4419730.18	285.97	4419691.46	5527863.71	286.52	4419691.24
5527784.04	280.93	4419716.47	5527786.05	280.96	5527861.03	277.07	4419740.81	5527848.00	277.68	5527868.44	285.94	4419692.06	5527788.59	285.31
4419722.94	5527862.22	280.87	4419723.6	5527879.67	4419742.9	5527848.84	277.88	4419743.15	5527858.73	4419692.25	5527770.01	285.23	4419691.94	5527787.68
280.89	4419726.22	5527788.9	280.4	4419725.42	278.23	4419741.07	5527836.6	278.7	4419740.1	285.39	4419692.69	5527712.97	285.07	4419691.11
5527791.61	280.44	4419726.61	5527794.32	280.28	5527824.81	278.78	4419742.15	5527824.25	278.8	5527715.89	284.93	4419693.52	5527718.91	284.78
4419727.78	5527898.18	280.23	4419724.69	5527894.37	4419743.45	5527814.19	279.29	4419738.41	5527814.66	4419694.17	5527721.79	284.82	4419694.46	5527723.2
280.28	4419727.18	5527896.64	280.19	4419727.73	279.26	4419733.78	279.06	4419733.46	279.04	284.55	4419694.78	5527724.7	284.47	4419690.87
5527791.71	280.59	4419723.3	5527804.63	280.09	5527818.35	278.41	4419728.11	5527813.86	278.22	5527868.12	285.52	4419692.96	5527868.88	285.5
4419729.82	5527802.7	276.76	4419728.11	5527803.46	4419732.37	5527811	278.37	4419731.97	5527806.6	4419691.56	5527718.38	284.9	4419690.6	5527718.75
279.72	4419726.12	5527804.08	279.77	4419723.28	279.44	4419731.55	5527808.11	279.52	4419731.15	284.03	4419693.74	5527728.03	284.36	4419686.13
5527802.08	279.5	4419723.14	5527816.89	278.98	5527808.77	279.28	4419728.97	5527803.04	279.24	5527745.09	283.7	4419691.85	5527725.57	284.39
4419729.89	5527817.3	279.03	4419731.19	5527806.77	4419728.28	5527898.41	280.03	4419726.24	5527798.28	4419697.9	5527741.14	283.05	4419695.12	5527728.12
279.58	4419721.97	5527806.14	279.51	4419731.97	280.03	4419734.41	5527898.25	280.85	4419728.48	283.8	4419696.14	5527720.65	284.18	4419698.83
5527806.6	279.43	4419732.75	5527812.46	279.28	5527811.88	279.26	4419730.47	5527811.28	279.27	5527737.87	283.78	4419697.86	5527734.87	283.92
4419733.1	5527813.97	279.2	4419733.45	5527815.39	4419732.82	5527821.91	279.49	4419730.83	5527822.33	4419699.17	5527738.96	283.68	4419698.07	5527736.04
279.13	4419731.17	5527838.63	278.12	4419741.09	278.73	4419732.07	5528334.31	278.06	4419734.19	283.85	4419699.75	552740.38	283.1	4419701.91
5527830.94	278.09	4419742.47	5527828.93	278.87	5527835.51	277.85	4419734.14	5527834.49	278	5527732.24	283.73	4419703.85	5527731.4	283.79
4419740.39	5527806.09	278.84	4419740.74	5527815.45	4419735.58	5527829.67	278.38	4419738.06	5527843.44	4419698.74	5527710.15	284.48	4419698.47	5527717.76
279.21	4419738.71	5527815.97	279.2	4419732.39	277.85	4419735.96	5527844.9	277.53	4419735.88	284.54	4419700.75	5527718.78	284.58	4419698.4
5527803.29	279.77	4419733.67	5527803.78	279.77	5527848.46	277.51	4419735.76	5527847.97	277.45	5527706.31	285.14	4419698.85	5527705.82	285.23

Abbildung 37: ASCII-Zahlenkolonne als Grundlage zur DGM-Erstellung, Auszug des Innenstadtbereichs von Bamberg [Eigene Darstellung]

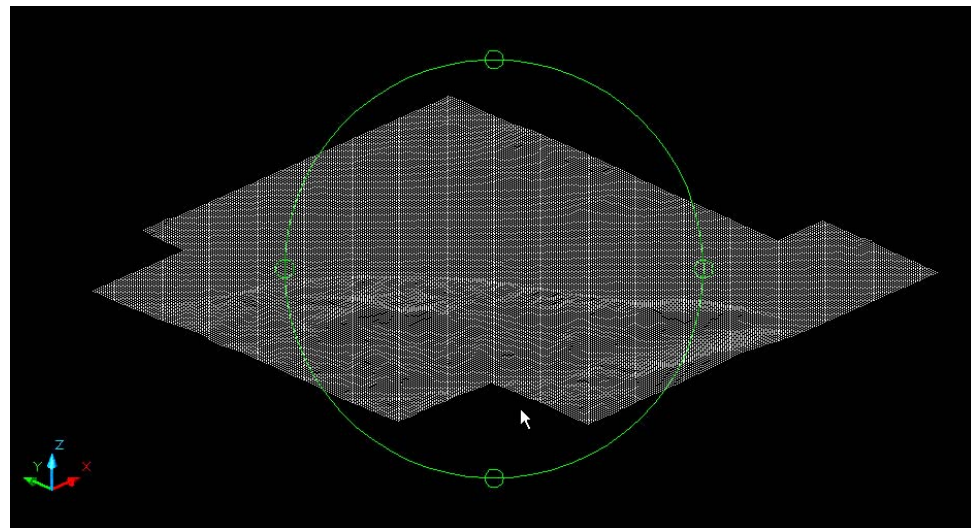


Abbildung 38: Punktwolke ausgelesen aus ASCII-Format [Eigene Darstellung]

Allerdings kann das erzeugte Geländemodell nur für den Freiraumbereich herangezogen werden. Deshalb wird der bebauete Bereich mithilfe von 3D-Polylinien als Bruchkanten-Umrisslinien ausgespart, es entsteht ein DGM-Freiraummodell.

DGM25 - Freiraumbereich

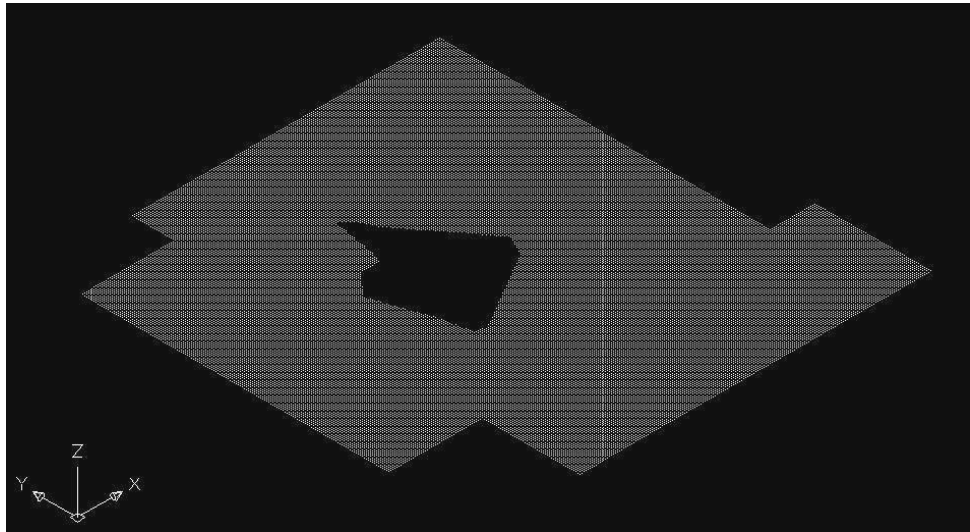


Abbildung 39: DGM-Freiraummodell, ausgeschnittener bebauter Bereich [Eigene Darstellung]

DGM-Erzeugung für bebauten Bereich

Für den bebauten Bereich werden als Grundlagendaten die Vermessungspunkte des Stadtplanungsamtes Bamberg herangezogen.

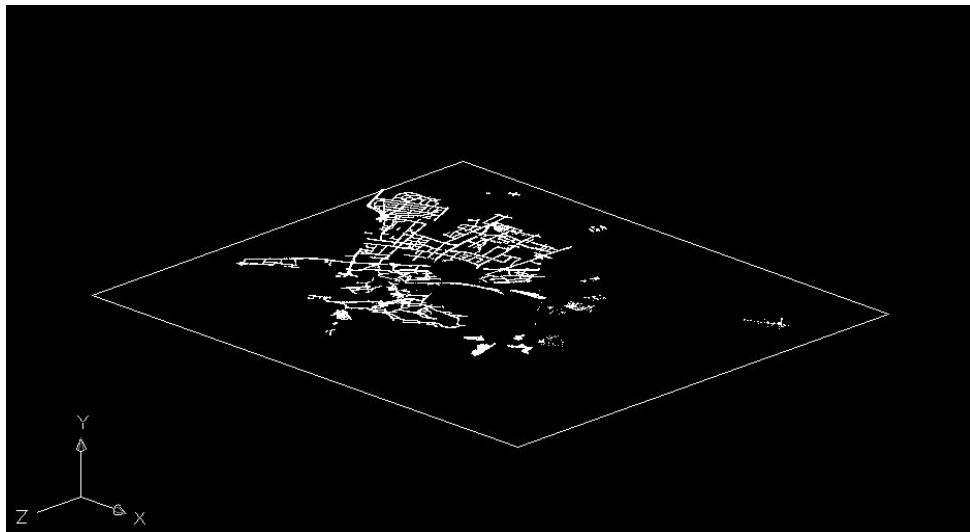


Abbildung 40: Straßenmesspunkte verteilt auf das Stadtgebiet [Eigene Darstellung]

Da diese Punkte nicht flächendeckend für die ganz Stadt vorhanden sind, und die Straßenbegrenzungslinien nicht als 3D-Polylinien vorliegen, entstand die Idee, einzelne Punkte auszuwählen, diese mit einer 3D-Polylinie zu verbinden und so 3D-Polygonzüge zu erzeugen, die als Grundlage für eine flächendeckende TIN-Vermaischung benutzt werden können.

Problematisch ist diese Herangehensweise allerdings in den Bereichen, in denen von Seiten der Straßenvermessung keine Punkte aufgenommen wurden und große, vermessungspunktlose Löcher entstehen. Diese werden bei der TIN-

Vermaschung interpoliert, sodass Höhenwerte entstehen können, die von der Realität abweichen.



Abbildung 41: Aus Messpunkten erzeugte 3D-Polylinien und die Darstellung von Bereichen ohne Straßenvermessungspunkte [Eigene Darstellung]

Eine wichtige Erkenntnis aus dieser Vorgehensweise ist, dass bis dato verlässliche und in kleinem Raster aufgenommene Höhendaten oftmals fehlen. Für die realitätsnahe Erstellung eines DGM müssen markante Geländepunkte ebenso wie trassierte Straßenführungen gleichermaßen feinmaschig aufgenommen werden. Grundsätzlich wäre es sinnvoll, die Grundstücksgrenzpunkte in der Katasterkarte auch in der Höhe z einzumessen. Mithilfe dieser Punkte wäre es möglich, ein sehr genaues, realitätsnahes Geländemodell zu erzeugen. Die Umsetzung kann aber nur durch normative Vorgaben des Gesetzgebers erfolgen.

Katasterpunkte in
x,y,z?

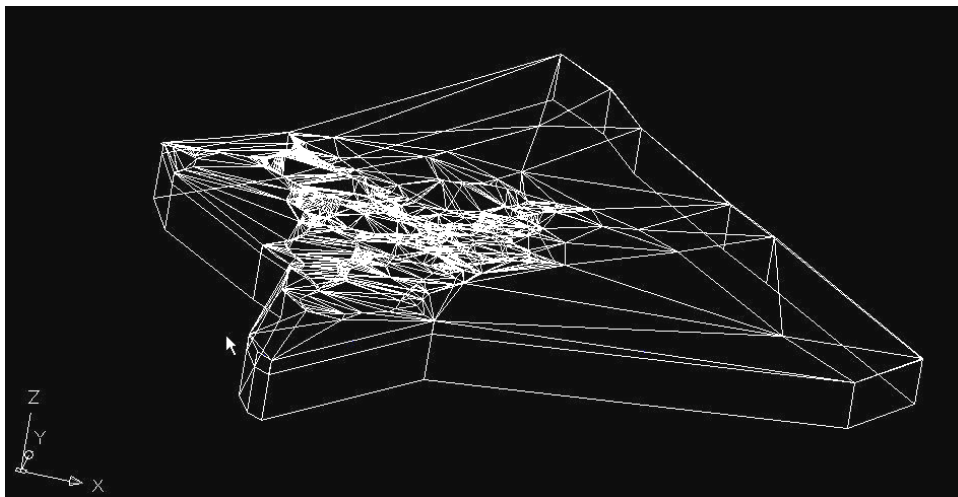


Abbildung 42: Das aus 3D-Polylinien erzeugte, tin-vermahtes DGM des bebauten Bereichs [Eigene Darstellung]

**Einfügen des
Gewässer in das DGM**

Als zusätzliche Information, auch zur besseren Orientierung für den Benutzer in späteren Arbeitsabschnitten, ist es sinnvoll, den Verlauf der Gewässer in das Modell einzufügen. Als Grundlage hierfür dient die Digitale Flurkarte. Da genaue Vermessungsdaten der Gewässer nicht vorhanden sind, wird hier unter folgenden Annahmen der Gewässerlauf erstellt: Die in der DFK eingezeichneten Flussverlaufslinien bilden die obere Uferböschungskante. Diese zeichnet man als 3D-Polylinie in der Weise nach, dass jeder Punkt auf der Linie dieselbe z-Höhe zugewiesen bekommt, wie der nächstliegende Punkt des DGM. Als Gewässertiefe wurde ein pauschaler Wert von 5m angenommen, auch wegen der besseren Darstellung und Erkennbarkeit im späteren Modell. Kleinere Tiefen erwiesen sich als zu schlecht erkennbar. Die so erzeugte 3D-Polylinie wird zur Gewässermitte um 0,5m versetzt, so dass bei der anschließenden Verschneidung und Triangulation mit dem DGM ein Flusskörper mit einer Böschungskante entsteht. Auf eine Bruchkante als Flussbettdarstellung wird aufgrund der festgestellten Exportschwierigkeiten, bedingt durch die Entstehung zu vieler Scheitelpunkte bei der Triangulation, verzichtet.

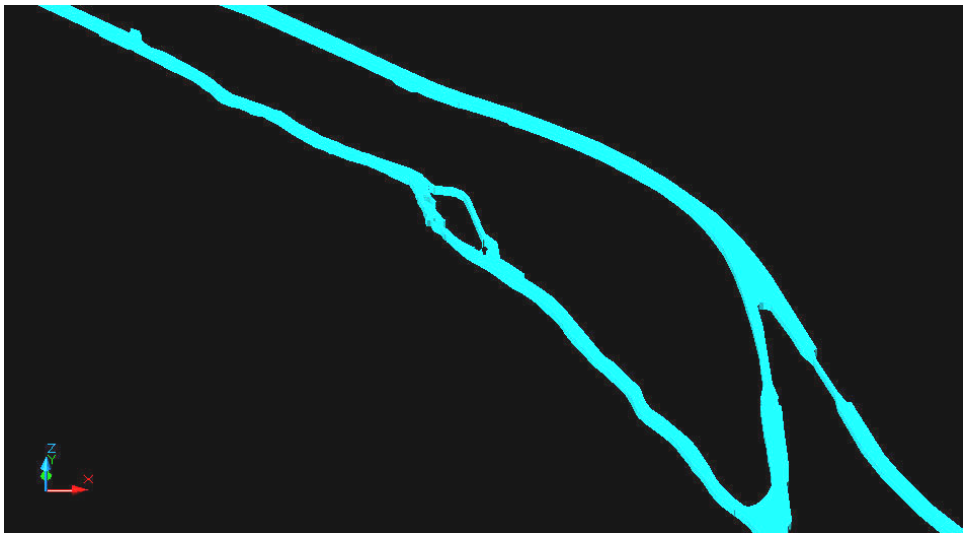


Abbildung 43: Extrudierter Flusskörper [Eigene Darstellung]

Allgemein ist anzumerken, dass es für eine bessere Detailgenauigkeit für die DGM-Erstellung ratsam wäre, den in Bamberg eingeschlagenen und in dieser Arbeit ansatzweise umgesetzten Weg, Straßenvermessungspunkte als Grundlage für die DGM-Erstellung heranzuziehen, weiter zu verfolgen.

Lägen für jeden Straßenzug in der Stadt bei wenig Topographiebewegung mindestens 10 Punkte pro Straßenseite vor, so könnten zumindest die Straßenzüge und unmittelbar angrenzende Topographien annähernd wirklichkeitsgetreu dargestellt werden. Ein weiterer Vorteil dieser Herangehensweise ist im Unterschied zu bisherigen 3D-Stadtmodellen der, dass Straßen bisher nicht als eigene Flächen auf dem DGM zu erkennen sind bzw. diese ohne Messzahlen manuell nachbearbeitet werden.

Für einen weiteren modellhaften Versuch der Geländemodellierung werden mithilfe der stereoskopischen Luftbildauswertung weitere Geländepunkte im unbebauten und nicht vom Stadtplanungsamt vermessenen Innenstadtbereich aufgenommen, sodass eine bessere TIN-Vermaschung erzielt werden kann.

Dies ist notwendig, da ansonsten Bruchkanten und wichtige Höhenversprünge, die zur Orientierung im Modell wichtig sind, nicht erkennbar sind.

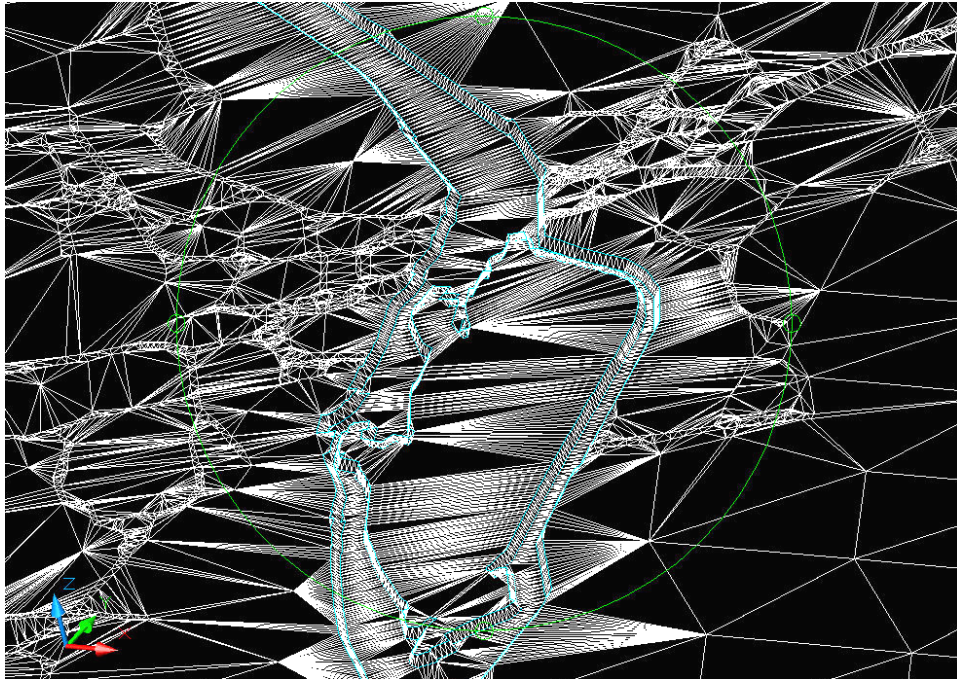


Abbildung 44: In das DGM eingerechneter Flusskörper [Eigene Darstellung]



Abbildung 45: Mit rot gekennzeichnete Straßenvermessungspunkte und Bereiche ohne Messpunkte [Eigene Darstellung]

Weiterhin wäre es wünschenswert, die Straßenvermessungspunkte schon als 3D-Polylinie erhalten zu können. Analog zur digitalen Flurkarte wären so die Höhenangaben als dreidimensionale, geschlossene Polygonezüge vorhanden.

**Erfahrungen und
Verbesserungsmög-
lichkeiten**

Darüber hinaus ist anzustreben, jedem Vermessungspunkt eines Straßenzuges eine eigene ID-Nummer zuzuweisen, damit die Strassen auch im 3D-Modell bzw. im DGM eindeutig verortet sind.

4.3.2 Gebäude-ID

Bei so umfassenden Datenbeständen und Informationen innerhalb eines 3D-Stadtmodells erscheint es wesentlich, dass verschiedene Informationen separiert abgerufen werden können. Das wichtigste Kriterium ist, Häuser eindeutig identifizieren zu können. Zum einen für die Lokalisierung und eine spätere isolierte Bearbeitung eines einzelnen Objektes innerhalb des 3D-Stadtmodells, zum anderen wird diese so genannte Gebäude-ID für die eindeutige Identifikation innerhalb eines (Geo-)Datenbanksystems benötigt.

Die einfachste Lösung wäre eine fortlaufende Nummerierung der Einzelnen Objekte. Dies Ansatz erweist sich in der Praxis als nicht akzeptabel, da die Verortung des einzelnen Objektes erst durch eine Verknüpfung erzielt wird.

Als geeignete, selbst konzipierte Lösung erweist sich die so genannte Gebäude-ID, die sich aus 13 Zeichen zusammensetzt. Dabei werden die Gemarkungsnummer, eine für jede Gemeinde in Deutschland eindeutige vierstellige Nummer, eine vierstellige Nummer aus dem Straßenschlüssel und die Hausnummer verwendet. Abgetrennt werden diese Parameter durch ein allgemein lesbares Sonderzeichen.

Logik der
Ausweisung



Abbildung 46: Gebäude-ID, aufgeschlüsselt bedeuten die Zahlen: Bamberg_Amselweg_2 [Eigene Darstellung]

Bundesweite
Identifikation

Durch diese Vorgehensweise ist jedes Gebäude deutschlandweit eindeutig identifizierbar. Außerdem geschieht die Lokalisierung über eine Makroebene hin bis zur Mikroebene. Zugewiesen wird die ID entweder als Eigenschaft des Objektes, oder, das Objekt wird im CAD-System auf einen eigenen Layer mit der entsprechenden Nummerierung gelegt.

4.3.3 Fassadenbildentzerrung, Bereinigung und Bildarchivierung

Vereinfachtes
Entzerrungsverfahren

Will man eine Textur auf eine Oberfläche eines Objektes mappen, so muss die Textur als Orthogonalaufnahme vorliegen. Bei freistehenden Solitärbauten ist dies verhältnismäßig einfach zu bewerkstelligen. Im Stadtraum jedoch, gerade in historischen Innenstädten ergeben sich durch die enge und verwinkelte Bauweise oftmals Probleme, da hier häufig keine orthogonale Abbildung möglich ist.

Im Gegensatz zu Fotogrammetrietechniken in der denkmalpflegerischen Bauaufnahme, bei der jedes Fassadenfoto über georeferenzierte Passpunkte mit einem verhältnismäßig hohen Aufwand entzerrt werden muss, kann man sich

beim reinen Fassadenmapping auf eine gröbere Entzerrungstechnik mithilfe eines Bildverarbeitungsprogramms beschränken, wie zum Beispiel mit Adobe Photoshop. Bei Bedarf lassen sich die einzelnen Bilder entzerren und zum anderen die Fassadentexturen aus verschiedenen Teilbildern zusammensetzen. Weiterhin müssen in dieser Arbeitsphase noch mithilfe von Retuschiermethoden Störfaktoren wie PKWs oder Vegetationen entfernt werden. Je nach Detaillierungsanspruch können zum Beispiel bei barocken Gebäuden durch Reihung von wiederkehrenden Fassadenelementen Komplettexturen generiert werden, die im späteren Modell trotzdem einen realen Raumeindruck erzeugen. Diese Reduzierung und Abstraktion am späteren Erscheinungsbild des Gebäudes darf jedenfalls nur so weit betrieben werden, dass der Betrachter des Modells mühelos die Übereinstimmung zwischen Abbild und Original im Sinne eines zweifelfreien Wiedererkennungseffektes wahrnimmt [vgl. hierzu *Krüger, Stahl 1998*].



Abbildung 47: Entzerrte, zusammengesetzte und retuschierte Fassaden im UNESCO-Welterbebereich Bamberg [Eigene Darstellung]

Für jedes Gebäude entstehen dadurch je nach äußerer Form mehrere Texturen. Wichtig ist deshalb die genaue Archivierung der Ausgangsbilder und der transformierten Texturen in einer Bilddatenbank, die je nach Bedarf aktualisiert werden kann, sobald ein Haus zum Beispiel ein neuen Anstrich bekommt. Auch hier hat sich bei der Namensgebung der Datei eine Kombination aus Gebäude-ID und fortlaufender Bildnummer zur besseren Identifizierung als beste Lösung herausgestellt.

Fassadenbibliothek

4.3.4 Erstellung der Dachstrukturen

Ein wichtiger Bestandteil des Welterbes sind die Dachstrukturen der einzelnen Gebäude in Bamberg. Bedingt durch die „mittelalterliche Parzellenstruktur und die darauf befindlichen Gebäude mit steilen Satteldächern sowie durch die barocken Mansarddachformen und die beinahe monumentalen Dachflächen der aus dem Häusermeer herausragenden Kirchen ergibt sich eine zerklüftete einmalige Dachlandschaft“ [*Baureferat Bamberg*]. Damit scheidet abstrahierte Dachformen für das zu erstellende Modell bereits im Vorhinein aus.

Mithilfe überlappender Luftbildstreifen und Kanaldeckelmesspunkten als georeferenzierte Bezugspunkte konnte die Dachstruktur stereoskopisch im Zentimeterbereich ausgewertet werden. Erstellt wurden in diesem Arbeitsschritt 3D-Polylinien und 3D-Punkte, die lagegenau in x,y und z-Koordinaten im Gauss-

Stereoskopisches Verfahren

Krüger-System vorliegen. Diese Punkt- und Strichstruktur ist unverzichtbare Grundlage bei der Erstellung dreidimensionaler (Dach)-Flächen im CAD-System.

Im nachfolgenden Arbeitsschritt müssen die aufgenommenen Strukturen mit dem Luftbild verglichen werden, und die Dachflächen mittels Konstruktion aus 3D-Faces erzeugt werden. 3D-Faces können einfach exportiert werden und sind in fast alle gängigen Applikationen integrierbar. Sie sind zuverlässig in 3D-Modeller als Vertices sichtbar, die dann problemlos mit Texturen versehen werden können.

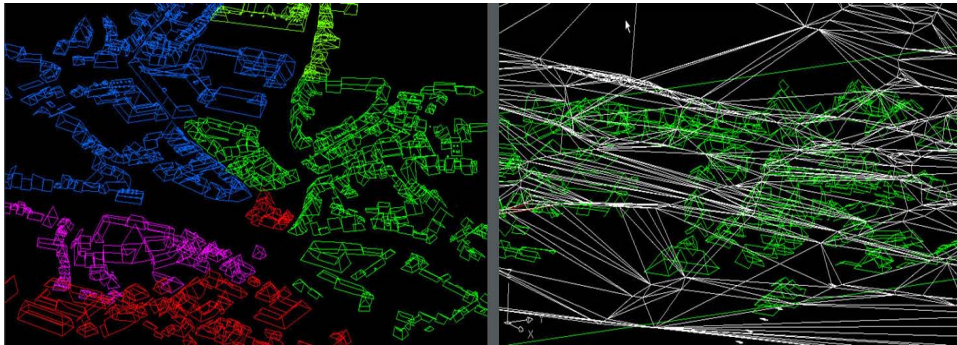


Abbildung 48: Links Dachstrukturen als 3D-Polylinien und rechts die georeferenzierte Überlagerung von DGM und Dachstrukturen [Eigene Darstellung]

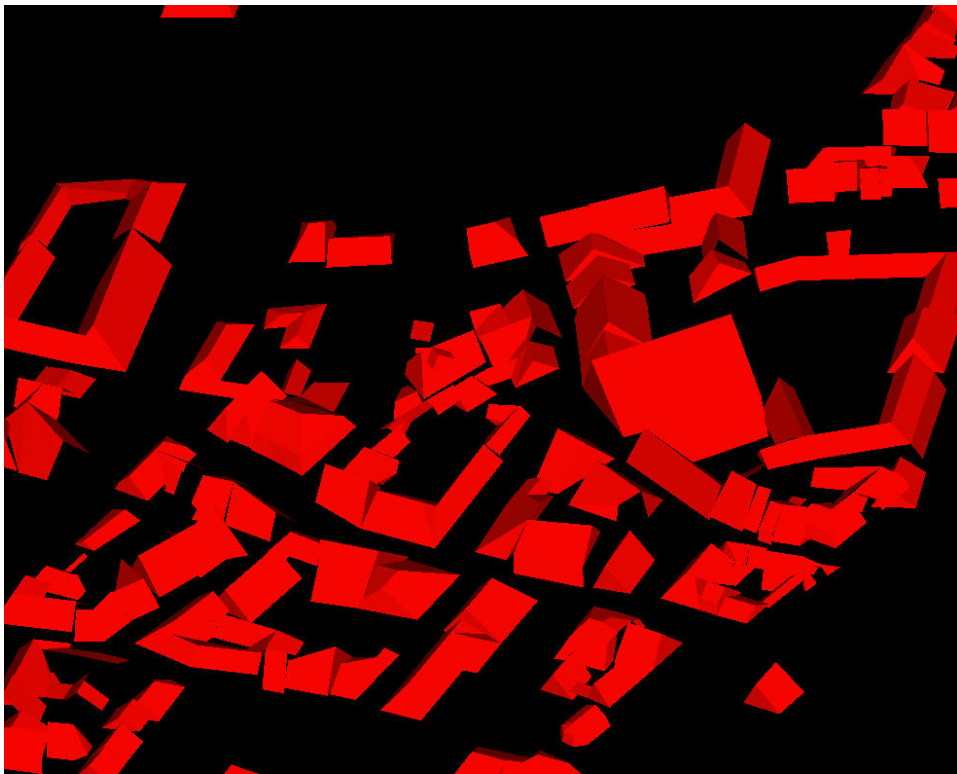


Abbildung 49: Generierte Dachstruktur aus 3D-Faces [Eigene Darstellung]

4.3.5 Modellbildung

Nach der Grundlagendatenerstellung wurden bewusst verschiedenste Herangehensweisen zur Erstellung des 3D-Stadtmodells erprobt. Die mit Standardsoftware eingeschlagenen Lösungswege erwiesen sich als problematisch. Trotz dieser Tatsache werden diese „Fehlversuche“ hier dokumentiert, da sie entscheidende Hinweise für die vorzunehmende Programmierung der ArchitecturalSpace- Engine von *Wettels 2004* lieferten.

4.3.5.1 Modellbildung mit WS_LandCAD

Da während der Bearbeitung des Projektes 3d-4d-Stadtmodelle während einer dreitägigen Exkursion nach Bamberg von jedem Haus die Gebäudehöhe per Laserdistanzmessung aufgenommen wurde, kann man in LandCAD einfach die Grundrissepolygone mit dem Wert der aufgenommenen Höhe extrudieren. So entsteht ein erstes Volumenmodell der baulichen Struktur. Die Dachstruktur ist passgenau zu den auf der Höhe 0 liegenden Kuben.

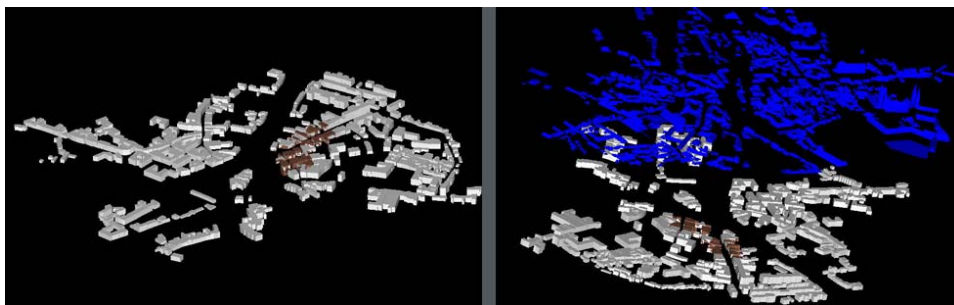


Abbildung 50: Aus Polylinien extrudierte Volumina und dazugehörige Dächer [Eigene Darstellung]

Ein Vorteil von LandCAD ist, dass es eine Option gibt, die es ermöglicht, Objekte automatisch auf das DGM verschneiden zu lassen. Die Idee hierbei ist, die erstellten Kuben automatisch an die Dächer anzugleichen und diese neu erstellten Geometrien an das DGM anzupassen.

Vorteile
WS_LandCAD

Probleme bereitet der Verschnitt von Kubus mit dem Dach; automatisch funktioniert dies nicht und die Anpassung muss von Hand getätigt werden. Zusätzlich erschwerend erweist sich die Tatsache, dass das Andocken von Flächen an Objekte in AutoCAD im Gegensatz zur Punktfangfunktionalität nicht möglich ist. Trotz dieses langwierigen Verfahrens konnten so erste Häuser erstellt werden, die nachfolgend in DWG- Blöcke umgewandelt werden. Die Blöcke bekommen die Gebäude-ID als Namen zugewiesen und einen Blockreferenzpunkt, der benötigt wird, um ein Gebäude auf die Oberfläche eines digitalen Höhenmodells heben zu lassen. Dies ist allerdings ein weiteres Problem bei der Erstellung des kompletten Modells, denn zum einen wird das Gebäude nur in das Gelände hineingelegt und nicht verschritten, und zum anderen müssen so alle Gebäude im Nachhinein nochmals auf ihre richtige Lage im DGM hin überprüft werden.

Probleme

Das so erhaltene 3D-Stadtmodell ist problemlos in einen 3D-Modeller zu exportieren und dort zu texturieren. Allerdings ist der Zeitaufwand pro Gebäude viel zu hoch und die Vorgehensweise ist als sehr unwirtschaftlich einzustufen.

4.3.5.2 Modellbildung mit ArchiCAD

Die ArchiCAD- Variante erscheint deshalb interessant, da es für dieses Programm ein eigenes Pluginn zur automatischen Erstellung von 3D-Stadtmodellen gibt.

Hierbei ist zu erwähnen, dass ArchiCAD im Gegensatz zum reinen vektororientiert konstruierenden AutoCAD, bauteilorientiert entwirft: Ein Volumenkörper wird als „Decke“ klassifiziert und jedes Bauteil, das nicht parallel zur Horizontalen ausgerichtet ist, bekommt die Klassifizierung „Dach“. „Wände“ sind um 90° gedrehte „Decken“.

Im ersten Schritt wird in ArchiCAD analog zur Vorgehensweise in LandCAD den aus der DFK übernommenen Grundrissen einfach eine „Deckenhöhe“ zugewiesen, um ein extrudiertes Volumenmodell zu erstellen. Dieser Arbeitsschritt ist problemlos zu bewältigen.

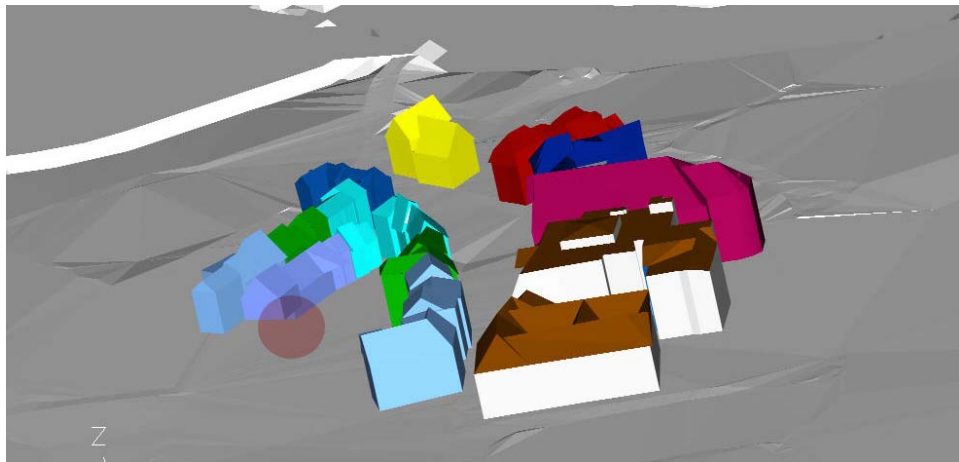


Abbildung 51: In LandCAD mit dem DGM verschliffene Gebäudeblöcke; mit rot gekennzeichnete Verschneidungsfehler aufgrund falschen Blockreferenzpunktes [Eigene Darstellung]

Probleme bei DXF-Import

Problematisch gestaltet sich allerdings schon der Import der als DXF-files vorliegenden Dachstrukturen und des DGMs. Das Stadtmodell-Modul liest nur AutCAD-DXF2000 Dateien. Enthält diese Datei wie zum Beispiel bei einem DGM viele Scheitelpunkte/ Knoten, so kann es zu einem Systemabsturz kommen. Die Dachdateien wiederum können mehr oder weniger problemlos eingelesen werden.

Um Systemabstürze zu vermeiden, wird das digitale Höhenmodell in einem Zwischenschritt mit dem ArchiCAD- Plugin ArchiTerra erstellt. Die Vorgehensweise läuft problemlos ab.

Laut Angabe soll die Erstellung des LOD1 und LOD2 mit Hilfe des Stadtmodell-Moduls einfach sein. Für LOD1 werden die Volumina automatisch mit dem DGM verschliffen und dienen als Grundlage zur Erstellung des LOD2, bei dem die erstellten Kubaturen automatisch an die Dachstruktur angepasst werden.

LOD 1

Diese einfache, automatisierte Erstellung funktioniert leider nur teilweise oder gar nicht. Im LOD1 Verfahren werden die vorher definierten S Höhen bei der Verschneidung mit dem DGM nicht berücksichtigt. Außerdem ist in diesem Arbeitsschritt kein System zu erkennen, nach welchen Kriterien die Höhen den Volumina zugewiesen werden.

Um speicherplatz- sparend zu arbeiten, kann man die „Decken“ in „Wände“ mit einer Wanddicke=0 konvertieren. Damit reduzieren sich die vorhandenen Punkte um den Faktor 4. Dies ist prinzipiell eine gute Herangehensweise, allerdings erzeugt das Stadtmodell-Modul in diesem Arbeitsschritt nur eine allgemein gültige Höhe für jedes Objekt.

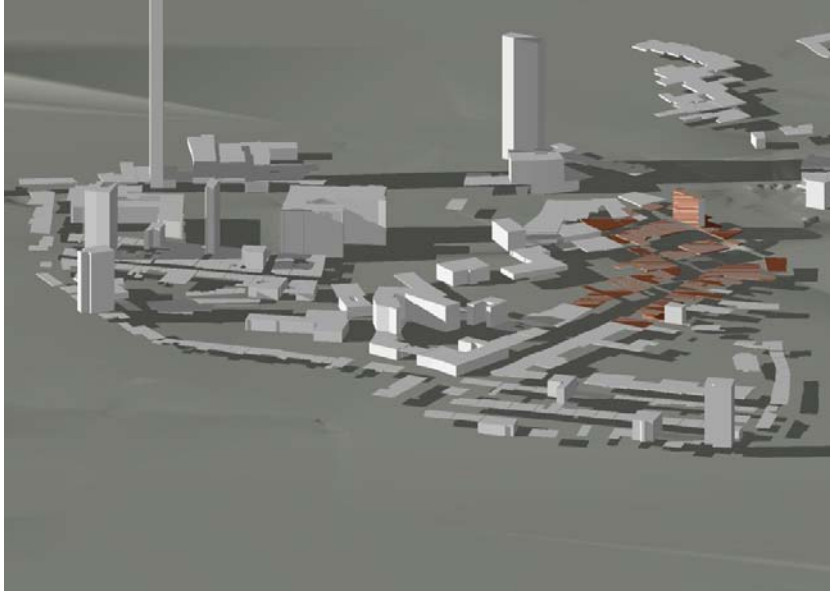


Abbildung 52: Falsch übernommene Höheninformationen im LOD1-„Decken“- Modell; Blick auf Situation „Grüner Markt“ und „Lange Strasse“ [Eigene Darstellung]

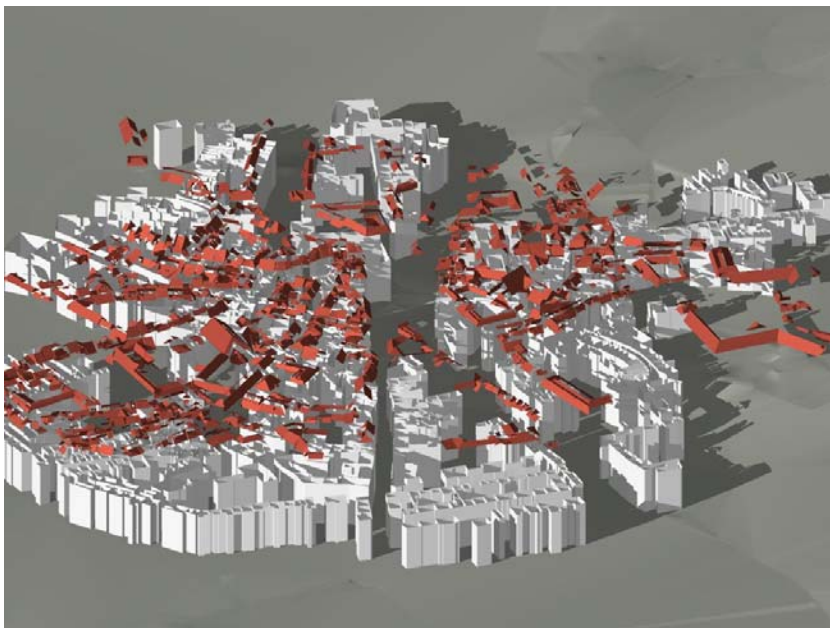


Abbildung 53: In „Wände“ konvertierte „Decken“, darüber gelagert die später zu verschneidenden Dächer

LOD 2

Bei der LOD2-Erstellung, der Verschneidung von Dächern mit Wänden, entstehen aufgrund von Messungenauigkeiten verschiedene Konstruktionsfehler, die auf folgende Tatsachen zurückzuführen sind:

- Nicht geschlossene Dachflächen zwischen den einzelnen Gebäuden
- Die falsche Lagegenauigkeit zwischen Grundriss und Dachstruktur

Die Lageungenauigkeiten sind meist Folge der Übernahme historischer, teilweise bis in das 17. Jahrhundert zurückgehender Katasterinformationen hinsichtlich der Stellung eines Gebäudes auf dem Grundstück. Durch diesen Umstand und durch die durch Verschattungen erschwerten stereoskopischen Auswertungen entstehen die oben beschriebenen Messungenauigkeiten.

Korrekturen sind in jeder Herangehensweise durchzuführen; diese sind jedoch so gut wie unmöglich, da die Verschneidungsfehler ein Verschneiden mit einer in der Unendlichkeit liegenden Schnittfläche sind und zu einem kompletten Systemabsturz führen, so dass Korrekturen so gut wie unmöglich sind

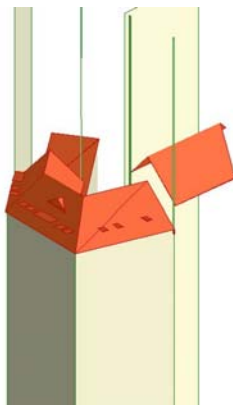


Abbildung 54: Verschneidungsfehler in ArchiCAD. Links wegen Lageungenauigkeiten zwischen Dach- und Grundrissflächen, rechts wegen nicht geschlossener Dachflächen [Eigene Darstellung]

4.3.5.3 Probleme der beiden methodischen Ansätze

Das größte Problem bei beiden Vorgehensweisen ist der immense Zeitaufwand, der betrieben werden muss, um ein fertiges Gebäude auf dem Gelände zu erstellen. Durch das rein konstruktive Verfahren in LandCAD sind die Ergebnisse zwar sehr genau, der semiautomatische ArchiCAD- Ansatz birgt jedoch zu viele Risiken, die dann in mühevoller Kleinarbeit nachgebessert werden müssen.

Mit gängigen Software-Applikationen können demnach keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt werden. Deshalb wurde am Lehrgebiet cpe von Pierre Wettels [[Wettels 2004](#)] eine Software programmiert, die als automatisches Stadtmodell-Erstellungstool fungiert und folgende gemeinsam entwickelten Vorgaben erfüllt:

- Automatische Erstellung eines Objektes auf dem DGM
- Wirklicher Verschnitt des Gebäudes mit dem DGM
- Grundlagendaten für LOD1: DGM und ALK- Grundriss- Polygone
- LOD1- Modelle auch mit verschiedenen Volumenhöhen erzeugbar

- Grundlagendaten für LOD2: DGM, ALK- Grundriss- Polygone und zusätzlich die stereoskopisch aufgenommenen Dachflächen
- Arbeiten mit gängigen Dateiformaten, hier 3DS und DXF
- Übernahme der Objektinformationen wie Gebäude-ID und damit die Möglichkeit der Einzel- Editierung von Gebäuden
- Georeferenziertes Arbeiten und Bearbeiten der Modelle
- Wahlmöglichkeit zwischen der Option des Verschneidens der Objekte und Grundrisse miteinander oder der Option des separierten Einlesens und Weiterverarbeitens
- Integration von Brücken wird erfüllt
- Dachsonderformen und –aufbauten dürfen keine Verschneidungsfehler hervor rufen
- Zerlegen des erstellten Modells in beliebig große Rasterweiten zur besseren Handhabbarkeit in 3D-Modellern
- Möglichst geringer Nachbereitungsaufwand
- Fehleranzeige bei nicht korrekter Überlagerung von ALK- Grundriss mit der Dachstruktur

Unter diesen Vorgaben wurde ArchitecturalSpace erfolgreich entwickelt. Es konnte prototypisch mit den vorliegenden Daten aus Bamberg getestet und im Arbeitsprozess in einzelnen Aufgabenbereichen jeweils verbessert werden.

4.3.5.4 Modellbildung mit ArchitecturalSpace

Das Prinzip der Modellbildung in ArchitecturalSpace ist vergleichsweise einfach. Durch Triangulation zwischen einzelnen Punkten und mit Hilfe von Kollisionserkennung, inspiriert durch die Spiele- Industrie, entstehen die Objekte im digitalen Raum.



Abbildung 55: Verschneidungsprinzip, fertig verschnittenes Gebäude und einzelne Editierbarkeit des Gebäudes, hier Brückenrathaus Bamberg [Wettels 2004 und durch eigene Darstellungen ergänzt]

Die komplette Stadtmodell-Erstellung funktioniert nach dem gleichen einfachen Prinzip: Dachstruktur, ALK- Grundriss- Polygone und DGM werden wahlweise als 3DS oder DXF eingelesen und nach kurzer Berechnungszeit liegt das fertige Modell vor und kann als DXF exportiert werden.



Abbildung 56: Aus ArchitecturalSpace generiertes LOD1-Modell (blau) und LOD2-Modell (braun) [Eigene Darstellung]

4.3.6 Kacheln und Erstellung einer Datenbankstruktur

Das fertig generierte und exportierte Modell besitzt eine Datengröße von über 50mb. Diese Vektor- Datenmengen sind in 3D-Modellern nicht mehr zu handhaben, die Programme verarbeiten diese großen Mengen nicht. Deshalb wird das Modell in Kacheln unterteilt. Eine gute Größe zur Bearbeitung der Kacheln sind Maße zwischen 125mx125m und 250mx250m. Für das Projekt in Bamberg wurde die kleinste Kachelgröße 125x125m verwendet. Die Kacheln werden in einer hierarchischen Struktur, generiert aus dem Rechtswert X und den Hochwert Y, georeferenziert abgespeichert, und sind dadurch jederzeit verortbar. Diese Struktur erleichtert auch die noch zu integrierende Datenbank. Weiterhin kann mit Hilfe der Übersichtskarte einfach auf die einzelnen Kacheln zum Zweck der nachfolgenden Texturierung zugegriffen werden.

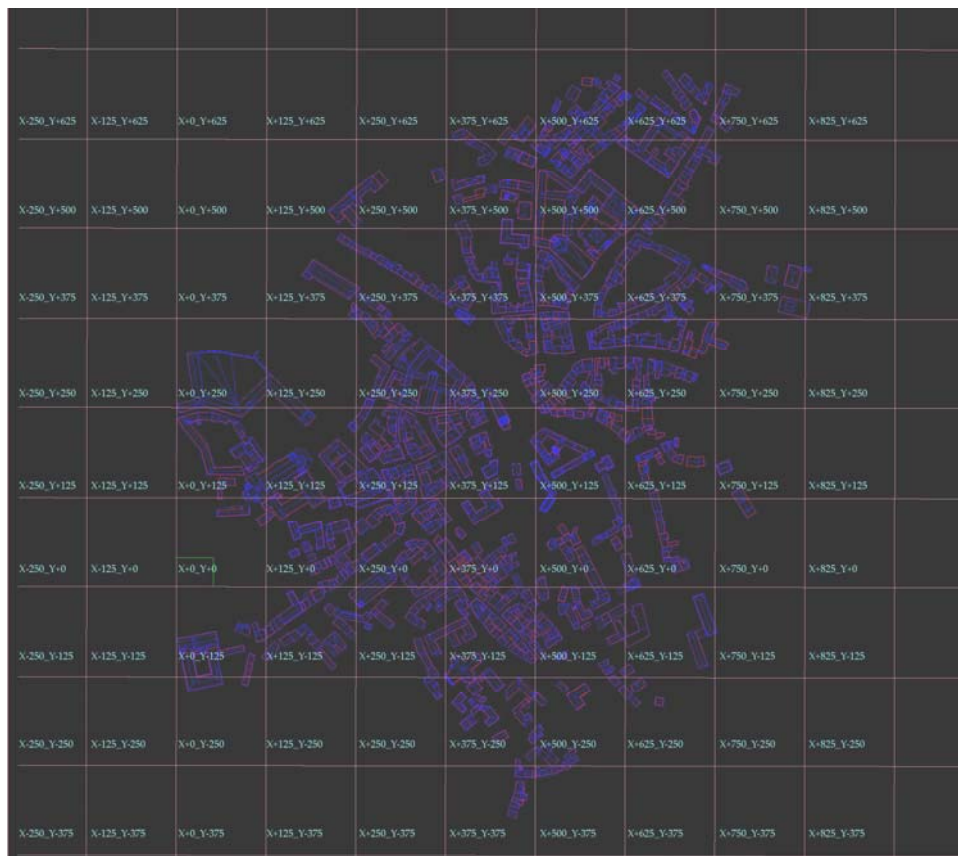


Abbildung 57: Das Gebiet des 3D-Stadtmodells Bamberg unterteilt in einzelne Kacheln [Eigene Darstellung]

4.3.7 Texturierung

Im Arbeitsschritt der Texturierung wird jede Kachel einzeln bearbeitet. Durch die Zuordnung einer Gebäude-ID zu jedem Haus kann zum einen jedes Gebäude einzeln bearbeitet werden und zum anderen können durch die gleiche Nomenklatur der Fassaden in der Fassadenbibliothek die einzelnen Texturen ohne großen Suchaufwand, auch durch nicht am Projekt Beteiligte, problemlos zugeordnet und auf die Fassade gemappt werden. Neben der Texturierung muss in dieser Arbeitsphase auch jedes Fassadenelement auf das Phänomen des „Backface-Cullings“ hin untersucht werden. Beim Backface-Culling werden 3D-Flächen, Normalen genannt, nur von einer Seite sichtbar dargestellt. Steht man auf der anderen Seite der Normalen, so ist diese nicht sichtbar. Durch eine Richtungsumkehr der Normalen kann dieses Problem behoben werden. Falls eine Fassade beim Vorgang des Entzerrens oder durch andere Einflüsse wie schlechte Aufnahmemöglichkeiten nicht passgenau vorliegt, so kann sie mit Hilfe von Editoren auf der zu texturierende Fläche noch editiert werden. Weiterhin können auch hier noch Veränderungen in Kontrast, Alpha-Kanal, Transparenz, Luminiszenz und viele Parameter mehr eingestellt werden. Um die Texturen problemlos exportieren zu können, müssen die entsprechenden Bilddateien in einer externen Referenzdatei gepackt gespeichert werden. Dadurch ist die spätere eindeutige Zuordnung gewährleistet.

Die Dateien werden in X-Files konvertiert und sind so problemlos integrierbar.

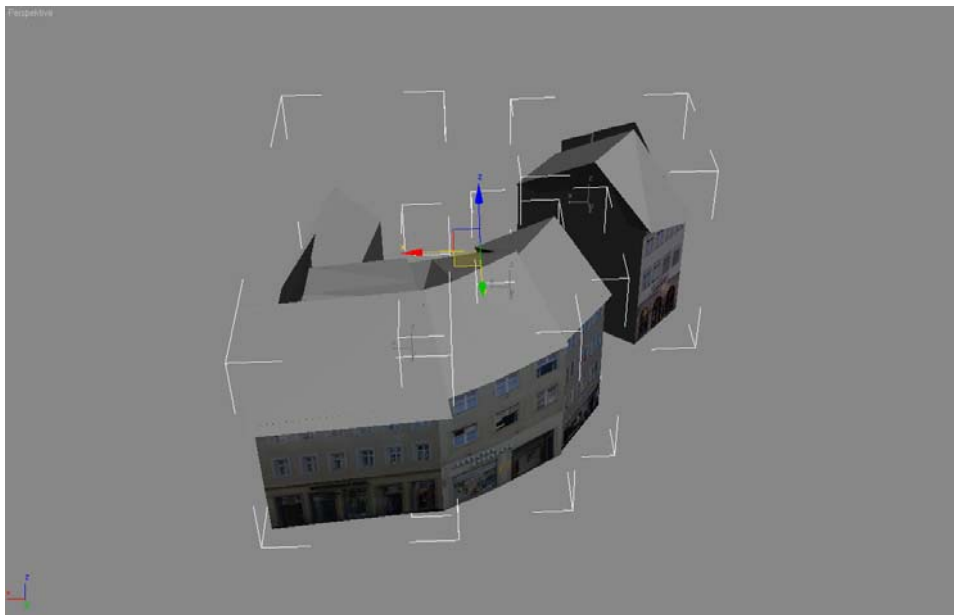


Abbildung 58: Bearbeitung und Texturierung einzelner Gebäude einer Kachel in einem 3D-Modeller [Eigene Darstellung]

4.4 Integration in Echtzeitviewer

Die Darstellung in Echtzeitviewern, seien es Virtual Reality Tools oder Game-Engines, stellte die größte Herausforderung dar. Nach der im Kapitel *Game-Engines* erwähnten Testphase wurde beschlossen, zwei Möglichkeiten weiter zu verfolgen. Zum einen die Irrlicht Engine aufgrund ihrer einfachen Programmierung in C++, der Open Source Lizenz und der Integrationsmöglichkeit von X-Files, zum anderen die Quest3D Software, ebenfalls wegen der Integration von X-Files und der dem Programm zugrunde liegenden modularen Aufbau- und Funktionsweise.

X-Files haben gegenüber anderen Formaten den Vorteil, dass sie direkt die Eigenschaften des Grafikchips auf der Grafikkarte mittels der DirectX-Schnittstelle ausnutzen. Je nach Treiberversion von DirectX und dem zu Verfügung stehenden Chip kann so die Darstellung, auch zeitlich fortlaufend, immer wieder verbessert und optimiert werden. Nachteilig ist allerdings, dass DirectX nur auf Microsoft-Betriebssystemen läuft.

4.4.1 Irrlicht-Engine

Als Vorbereitung für die Veröffentlichung in der Irrlicht-Engine müssen sämtliche Texturen, ihren relativen Pfad zur gemappten Datei beibehaltend, auf eine Maximalgröße von maximal 1000 Pixeln als größte Seitenfläche gebracht und in das der Irrlicht- Engine zugrunde liegende DAT-Format umgewandelt werden. Frei konfigurierbar ist nun, welche der Kacheln in die Engine eingeladen werden, wie sieht die Skybox, also die umgebende Hülle, der Engine aus. Musikalische Untermalungen können ebenso konfiguriert werden wie triggerbasierte Ereignisse über die C++ Schnittstelle.

```
int StartY=0;
int StartZ=0;

CDemo::CDemo(bool f, bool m, bool s, bool a, video::EDriverType d)
: fullscreen(f), driverType(d), currentScene(-2),
  model1(0), model2(0), model5(0), music(m),
  shadows(s), quakeLevelMesh(0), quakeLevelNode(0), timeForThisScene(0),
  skyboxNode(0), mapSelector(0), metaSelector(0), campFire(0), device(0),
  additive(a)
{
}

CDemo::~CDemo()
{
  if (mapSelector)
    mapSelector->drop();

  if (metaSelector)
    metaSelector->drop();
}

void CDemo::run()
{
  device = createDevice(driverType,
    core::dimension2d<32>(1024, 768), 32, fullscreen, shadows, this);
  //core::dimension2d<32>(512, 350), 16, fullscreen, shadows, this);

  //device->getFileSystem()->addZipFileArchive("bamberg.zip");
  //device->getFileSystem()->addZipFileArchive("map-20kdm2.pk3");
  //device->getFileSystem()->addZipFileArchive("../..\\media\\map-20kdm2.pk3");

  video::IVideoDriver* driver = device->getVideoDriver();
  scene::ISceneManager* smgr = device->getSceneManager();
  gui::IGUIEnvironment* guienv = device->getGUIEnvironment();

  device->setWindowCaption(L"Irrlicht Engine Bamberg");

  wchar_t tmp[255];
```

Abbildung 59: C++ Programmstruktur der Irrlicht Engine [Eigene Darstellung]



Abbildung 60: Interaktiver Rundgang in der Irrlicht Engine [Eigene Darstellung]

4.4.2 Quest3D

Ähnlich der Methodik der Integration der X-Files in die Irrlicht- Engine können diese nach dem erfolgreichen Vorbereiten und Texturieren in einem 3D-Modeller problemlos in die Quest3D- Engine eingeladen werden. Durch den hierarchischen Aufbau in Kanälen ist jedes Detail einer eingelesenen Kachel editierbar; ein Hinzufügen der Kollisionserkennung der Gebäude ist ebenso möglich wie nachträgliche mipmap- Texturierung. Die Dateigröße beläuft sich auf ca. 20mb und ist als Windows- Executable, HTML- Stream oder auch als Screensaver zu veröffentlichen.

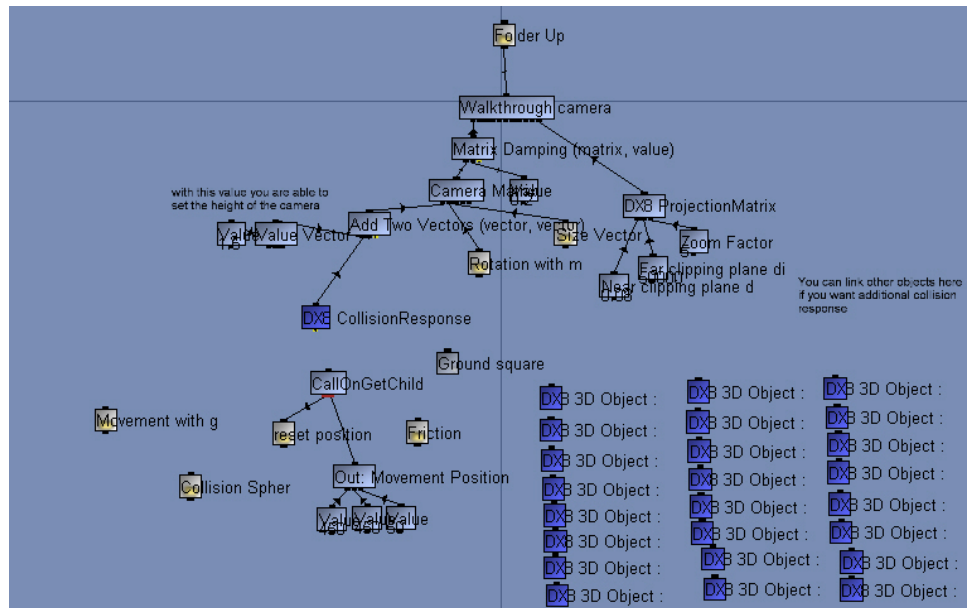


Abbildung 61: Hierarchische Quest3D- Struktur, aufgebaut in Kanälen, jede Kachel (rechte Seite) ist als DirectX- File eingelesen, auf der linken Seite die in Kanälen integrierten Verhalten [Eigene Darstellung]



Abbildung 62: Interaktiver Rundgang mit Quest3D [Eigene Darstellung]

5 Ausblick

Die vorangegangenen Arbeitsschritte verdeutlichen, dass die Erstellung eines 3D-Stadtmodells nach langwieriger und teilweise frustrierender Grundlagenforschung bei ausreichend guter Datenausgangslage kein grundsätzliches Problem darstellt. Trotzdem fehlen in den vorliegenden Quest3D oder auch den Irrlicht- Engine Modellen noch einige sinnvolle und wichtige Punkte.

5.1 Weitere benötigte Features

Datenbankanbindung

An erster Stelle sind die fehlenden additiven Informationen bezüglich der einzelnen Gebäude zu nennen. Ähnlich dem Verfahren auf einer HTML- Seite soll der Benutzer, sofern er Informationen zu einem Objekt benötigt, diese durch Anklicken bekommen. Um diese Informationen aktuell zu halten, wäre es der günstigste Fall, wenn die Informationen durch eine Datenbankanbindung, sei es über ODBC, MySQL, Oracle Spatial oder ähnliche, nach Bedarf oder tagesaktuell neu eingelesen werden könnten. Dies wäre auch der nächste wichtige Punkt. Da die erstellte Exe- Datei zwischen 20 und 40 mb groß ist, sollte der User die Exe- Datei nur einmalig herunterladen müssen und auf seinem Rechner installieren können. Alle Daten, die veränderbar sind, wie Öffnungszeiten, oder die Veränderung in der Baustruktur, sollten als Art Update herunterladbar sein. Der Benutzerkomfort und auch der Komfort für die Content-Anbieter erhöht sich mithilfe dieser Vorgehensweise enorm. Weiterhin könnte auch eine Web- Streaming – Lösung zur Übermittlung des Modells denkbar sein; je nach Aufenthalt im Modell werden Gebäude und Inhalte client- server- seitig Stück für Stück nachgeladen.

IFC

Durch die momentan verfügbaren Erfassungsmethoden (Photogrammetrie, Laserscanning) werden Geometriedaten erhoben. Stadtmodelle beschränken sich derzeit oftmals nur auf Präsentation und Visualisierung. Architektur-CA(A)D-Systeme liefern dagegen neben der Geometrie semantische Objektinformationen über Gebäude. Problematisch ist dabei, dass über die vorhandenen Schnittstellen (z.B. DXF) diese meist nicht exportiert werden können [Benner, Leinemann, Ludwig 2004]. Interessant wäre nun die semantische Übertragung von Gebäudeinformationen wie Objektaußenhülle, Fenster, Türen und Dach in das 3D-Stadtmodell. Eine weitere Ausbaustufe wäre nach der Lösung der Integration von Gebäudeinformation die Implementierung und Klassifizierung von städtebaulichen Objekten wie Straßen, Brücken, Kanälen und vieles mehr. Dadurch würde das 3D-Stadtmodell eine weitere Intelligenz erfahren.

Austauschbare Objekte für Architekturwettbewerbe oder die Simulation per Knopfdruck, wie sich Baukörper beziehungsweise Stadtstrukturen verändern, sind auch sehr interessante weitere Features. Dabei muss der zu integrierende Inhalt dementsprechend aufgebaut worden sein.

Tourismus

Um das 3D-Modell für den Tourismus noch interessanter zumachen, sollte die Möglichkeit der Integration von transluzenten Wegstreckenleitsystemen geprüft werden. Ähnlich einer Route auf einer 2D- Karte, die per Strich eingezeichnet ist, könnte dieser Weg ein dreidimensionales Wegband sein, der genau den vorgegebenen Weg einzeichnet. Denkbar wäre auch die Einblendung einer 2D-

Karte, die nicht nur die vorgeschlagene Touristikroute anzeigt, sondern auch den genauen Standort des Users.

Die Integration in Mobile Devices wurde schon im Tourismus-Kapitel näher beleuchtet. Bei der Arbeit ist aufgefallen, dass die Techniken zur Erstellung von Routennavigationssystemen in dem erstellten Modell zwar eine zeitaufwändige, aber lösbare Aufgabe darstellt. Adresssuche und das Anzeigen einer Strecke von A-B sind daher möglich. Dies stellt auch die Grundlage zur Integration in Mobile Devices dar. Durch kontinuierliche Datenreduktion einhergehend mit der Einführung des UMTS- Standards und der immer größeren Leistungsfähigkeit der Handheld- Geräte in Hinblick auf Grafikdarstellung und Speicherkapazität, können in naher Zukunft diese Services geplant und eingesetzt werden. Wünschenswert wäre in diesem Zusammenhang auch noch die Integration einer GPS- Schnittstelle, so dass eine 3D- Navigation im erzeugten Modell möglich wäre.

GPS

Weitere Punkte wie die Integration von Wind, Rauch und Feuerereignissen im Zusammenhang mit Katastrophenschutz- Szenarien sind ebenso spannende und wichtige Punkte wie das kontinuierliche Experimentieren zur weiteren Darstellungsverbesserung: Angefangen bei der Ausdifferenzierung der Vegetation, Verbesserung der Darstellungsqualität durch sichtwinkelabhängige mipmap Texturen bis hin zur Belebung der 3D-Szenen mit Menschen. Dies kann man durch einfaches Hineinsetzen von Grafiken oder Objekten erreichen, aber auch durch die Integration so genannter Avatare.

Grafik Erweiterung

Durch die Avatareinbindung könnten Communities entstehen, jeder Avatar repräsentiert einen Menschen, der sich virtuell in der gleichen Szene aufhält. Der städtische Raum als Aufenthaltsplatz würde hier eine virtuelle Renaissance erleben.

Communities

Nicht zu vergessen ist der Ansatz der Erstellung von physischen Modellen aus den bestehenden Datensatz. Nach einer Prototypenerstellung könnte man die Modelle in Plastik, Acrylglas oder in der edlen Variante in Bronze gossen lassen und als Kunstobjekte verkaufen.

Womit wieder der monetäre Gedanke aufkommt, wie kann mit den 3D-Stadtmodellen Geld verdient werden?

Zum einen kann man die Modelle als Planungsgrundlage verkaufen. Dies richtet sich aber eher an eine kleine Zielgruppe. Im Modell selbst könnten Werbeflächen verkauft werden: Zum einen an bestehende Geschäfte und Betriebe, die in der Realität in den gleichen Häusern wie im 3D-Modell ihr Geschäft besitzen und demnach dort ihr Firmenschild präsentieren dürfen. Eine andere Alternative wäre es bestimmten Marktplätze einzurichten, an denen auch „Modellfremde“ ihr kleines Einkaufsportale eröffnen und die diese Form der Werbung und Präsentation neue Kunden finden könnten.

Mehrwert

5.2 UNESCO- Welterbe im digitalen Zeitalter

Die Klassifikation als UNESCO- Welterbe bedeutet für alle Stätten einen enormen Imagegewinn. Durch das Prädikat, eine besonders wertvolle bauliche oder naturräumliche Situation zu besitzen, bzw. durch die Dachmarke UNESCO- Welterbe, werden durch die weltweite Bedeutung und Publizität ganz andere Zielgruppen erreicht. Dies birgt allerdings auch enorme Risiken, z.B. die Abnutzung des Weltkulturerbes; wie geht man mit den Besucherströmen um? Weiterhin stellt sich die Frage, ob nicht gerade im virtuellen Zeitalter die

Kulturerbe für alle

Möglichkeit besteht, das Kulturerbe in die Ballungszentren zu bringen. Dadurch wird eine größere Masse Interessierter erreicht und gleichzeitig das Welterbe vor Abnutzung geschützt. Zusätzlich wird der Reiseverkehr vermieden, der die Umwelt zusätzlich belastet.

Origin Projekt

Ein interessantes Konzept in diesem Zusammenhang ist das am Lehrgebiet cpe entwickelte Origin Projekt Konzept [Marx, Oberlinger, Wilke 1999]. Dabei handelt es sich um ein unter UNESCO- Schirmherrschaft stehendes weltweites Museumskonzept. Der Ansatz ist, die Stätten des UNESCO-Weltkulturerbes weltweit einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen, ohne sich physisch dorthin begeben zu müssen. Mit Hilfe von Virtual und Augmented Reality Techniken könnten die real existierenden Städte mit den Zeugnissen längst vergangener Kulturen überblendet werden. Virtuelle Raumerlebnisse zur Vermittlung von Dimensionen und Proportionen gehören ebenso zum Gesamtkonzept wie die Integration vorhandener infrastruktureller Einrichtungen der jeweiligen Metropolregionen. Zusätzlich entsteht durch die Ergänzung mit physisch existenten Exponaten dieser Epochen ein erlebbares Gesamtkonzept. Der Besucher wird zum „Zeitreisenden“ in einer ihm vertrauten Umgebung. Beispielhaft wurde diese Idee für die Stadt Frankfurt a. M. umgesetzt. Der Besucher kann sich intuitiv-interaktiv z. B. die Pyramidenanlage von „Gizeh“, die antike Mayastadt „Palenque“ oder auch die Megalithbauten von „Stonehenge“ erschließen. Möglich wäre auch, das 3D-Stadtmodell von Bamberg in das Konzept zu integrieren.

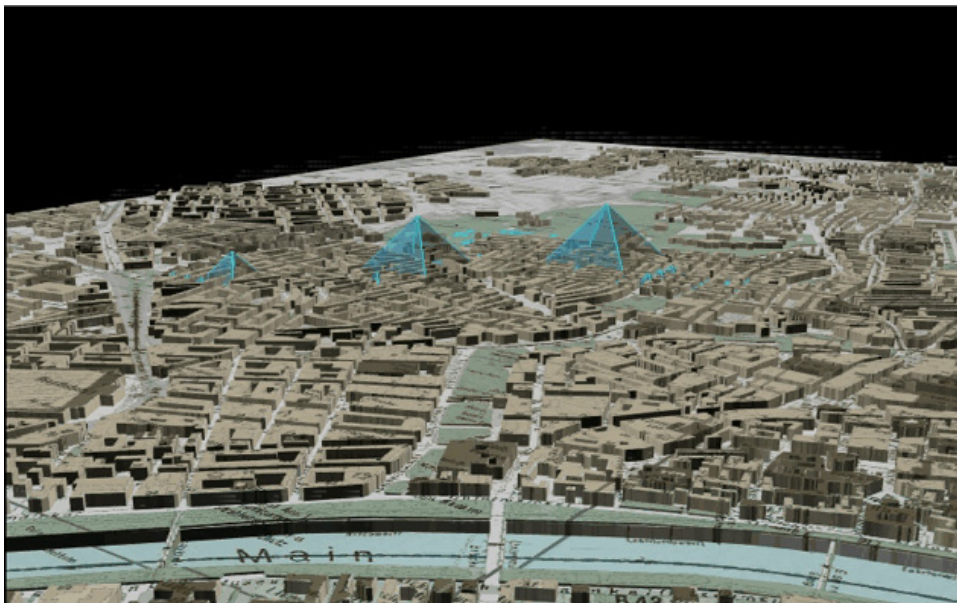


Abbildung 63: Die Pyramiden von Gizeh auf den Grundriss der Frankfurter Innenstadt übertragen [Marx, Oberlinger, Wilke 1999].

Technische Realisierung

Die technische Realisierung geschieht über ein Konzept aus speziellen Meta-Datenbanken, die weltweit die vielfältigsten Informationen in Form von Fotografien, Animationen, Klängen sowie computergestützte Rekonstruktionen des UNESCO-Weltkulturerbes erfassen. Dadurch wird der Zugang auf eine fundierte Datenbasis weltweit ermöglicht. Kernstück des Konzeptes sind mobile Informationsboxen, die mit den Datenbanken in direkter Verbindung stehen und die audio-visuellen Informationen einspeisen. Mit Hilfe von Augmented Reality

Techniken wird der direkte Bezug zum Ausstellungsort geschaffen. Das virtuelle Konzept erfährt durch physisch existente Exponate seine Ergänzung, die zum Anfassen einladen und somit einen haptischen Eindruck der fremden Kultur vermitteln. Diese über die ganze Stadt verteilten Mediencontainer präsentieren in einer Art Wanderausstellung jeweils ein Projekt über einen gewissen Zeitraum (z. B. 2 Monate) und zieht danach in eine andere Stadt um [*Lenhart, Schildwächter, Zeile 2002*].

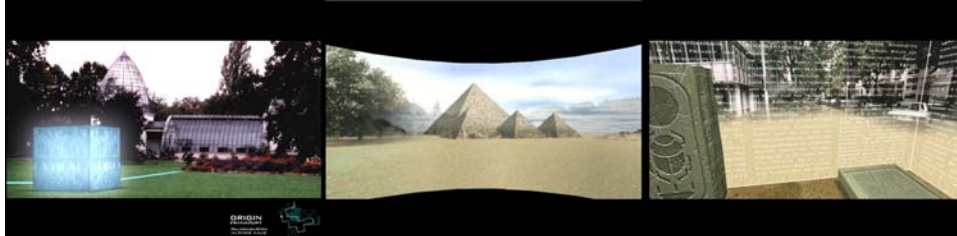


Abbildung 64: Im Frankfurter Palmengarten postierte Mediabox (links), Augmented Reality mit Darstellung der Pyramiden von Gizeh (Mitte), interaktive Exponatebox mit ausgestellten Artefakten (rechts) [*Marx, Oberlinger, Wilke 1999*]

6 Fazit

Die Entwicklung von 3D-Stadtmodellen als Anwendung für den kommunalen Einsatz befindet sich noch im Anfangsstadium. Ein allumfassendes Stadtmodell konnte bis dato nicht generiert werden. Die bisherigen Lösungen verzichten oftmals auf die Topografie oder falls die Topografie vorhanden ist, sind die Gebäude sehr generalisiert dargestellt. Weiterhin ist die Darstellungsqualität nicht auf dem Level der bekannten Game Engines angesetzt. Die Präsentation und die damit verbundene potentielle Interaktion in den generierten Modellen genügen oftmals den gewohnten Sehgewohnheiten nicht. Durch fehlende Standards werden viele potentielle Nutzer wie Kommunen derzeit abgeschreckt, in eine innovative Technik Geld zu investieren, die in zwei bis drei Jahren durch den Fortschritt der Technik als veraltet gelten kann und dadurch die gesamte Investition auch politisch als Fehlschlag beurteilt werden könnte.

Die selbst aufgestellten Ziele der SIG3D zur Erstellung einer allgemein gültigen Definition von 3D-Stadtmodellen in den Punkten Level of Detail, Darstellung und Generierung von Objekten sowie der Integration von Datenbanken sind in diesem Zusammenhang der erste, notwendige Schritt, um Bedenken gegenüber diesen neuen Techniken, der Erstellung und des Einsatzes von 3D-Stadtmodellen, auszuräumen.

Durch die in der Arbeit vorgestellten möglichen Einsatzfelder und die nachfolgende Integration der Ergebnisse in die Echtzeitpräsentation werden die Potentiale aufgezeigt, die im aktiven Umgang mit einem 3D-Stadtmodell liegen. Die Generierung des 3D-Wireframe-Modells wirkt trotz der Integration des Geländemodells keine Probleme auf, einfache LOD 1 Modelle können ohne großen Zeitaufwand erstellt werden. Die mit einem höheren Arbeitsaufwand verbundenen LOD- Stufen 2 und 3 können die Stadt am Computer virtuell erlebbar machen.

Insgesamt stecken gerade in der Verbindung von klassischen Modellierungstools für Planung und Architektur mit fachfremden Applikation aus der Virtual Reality und Spiele Szene sowie der Kombination von Open- Source Datenbanken herausragende Potentiale, um Städte, deren Strukturen und die damit verbundenen Geodaten zu erfassen, zu visualisieren, zu analysieren und zu pflegen.

Durch die bildhaften, in reale Baustrukturen eingebetteten und traditionellen Sehgewohnheiten entsprechenden Darstellungen von Planungszielen, kann ein neues Bewusstsein für den städtischen Raum, dessen Probleme und den anschließenden Lösungsvarianten erzeugt werden.

Gerade in der jetzigen Zeit des Iconic Turns [*Maar, Burda* 2004], in der Bilder zunehmend Informationen und Inhalte vermitteln und an Macht gewinnen, müssen die für die gebaute Umwelt verantwortlichen planenden Disziplinen, ihre, den Lebensraum der Natur und des Menschen betreffenden Planungen allgemein verständlich dem Bürger vermitteln. Tendenzen, Menschheitsrelevante Planungen vermehrt nur textlich zu artikulieren und zu präsentieren, überfordern den Bürger und zunehmend auch politische Entscheidungsträger. Die interaktiv bewegte, bildhafte Präsentation ist, sofern politisch gewünscht, die beste Möglichkeit der allgemeinverständlichen Kommunikation aller am Planungsprozess beteiligter Akteure, weil sie mehr als alle übrigen Medien mit Präsentationscharakter die volle Aufmerksamkeit des Beobachters erzwingt.

3D-Stadtmodelle bieten hierfür die unverzichtbare Planungsgrundlage. Der Stadtraum wird neu erlebbar, transformier- und veränderbar. Bürger können selbst sich ein Bild über ihre Stadt, deren Probleme und eventuelle Lösungsmöglichkeiten machen. Als positiven Nebeneffekt können die Daten eines 3D-Stadtmodells - auch wie oben beschrieben - Institutionen wie dem Katastrophenschutz, dem Denkmalschutz, dem Tourismus etc. dienen.

Touristische Angebote werden multimedial in Echtzeit präsentiert und Städte sowie deren Tourismuseinrichtungen erhalten webgestützte oder offline verfügbare neue Marketinginstrumente.

Durch die Generierung von 3D-Stadtmodellen erlangen die vorhandenen kommunalen Geodatenbestände eine ganz neue Wertigkeit. Denn durch den immer noch brach liegenden Geodatenbestand, der oft auch als kommunaler Schatz bezeichnet wird, kann durch relativ einfache Transformation der Daten neue wesentliche Information für den Bürger erzeugt werden. Ein solches, durch intelligente Verknüpfung neu geschaffenes Wissen, fördert die gesamte Kommune und generiert einen Mehrwert, der für die Städte nicht nur kommerzieller Art ist.

Nach Abschluss des Projektes erhärtet sich somit die Einsicht, dass 3D-Stadtmodelle das planungsunterstützende Element der Zukunft darstellen und die Gemeinden und Kommunen jetzt beginnen müssen, an dieser Zukunft zu arbeiten.

Literaturverzeichnis / WWW-Referenzen

A

Academius: Academius Online Lexikon, auf <http://www.academicus.ch>, 2003

Achleitner, E., Schmidinger, E., Voigt, A.: Dimensionen eines digitalen Stadtmodelles am Beispiel der Stadt Linz, in Schrenk, M. (Hrsg.): 8. Symposium „Computergestützte Raumplanung“ – CORP 2003, Wien, 2003

Albert, J., Bachmann, M., Hellmeier, A.: Zielgruppen und Anwendungen für digitale Stadtmodelle und digitale Geländemodelle – Erhebungen im Rahmen der Arbeitsgruppe „Anwendungen und Zielgruppen“ der SIG3D im Rahmen der Initiative GDI-NRW, Düsseldorf, 2004

Archmatic Glossar: auf <http://www.glossar.de/glossar/index.htm>, Neustadt, 2003, am 1/12/03

Asanger, A.: Cinema 4D 7 und BodyPaint 3D - Modelling, Texturing, Animation und Rendering, Gallileo Press, Bonn, 2001

B

Bachmann, M.: Besonderheiten historischer Bauaufnahmen und Lagepläne, in: Werfeling, U., Heine, K., Wulf, U. (Hrsg.): Von Handaufmass bis High-Tech, Mainz, 2001

Baldegger, J.: Überblick über Locations-based Services (LBS) und mobile GIS, Gruppe Geoinformatik, ETH Zürich, 2001, auf <http://www.geoit.ethz.ch> am 8.8.02

Baldegger, J.: Mobile Informationssysteme, Vortrag, Zürich, 2002, auf <http://www.geoit.ethz.ch> am 23.4.03

Baugesetzbuch (BauGB): vom 23. Juni 1960, Verkündungsfundstelle: BGBl I 1960, 341, Sachgebiet: FNA 213-1, Stand: Neugefasst durch Bek. v. 27. 8.1997 I 2141 (1998, 137); zuletzt geändert durch Art. 4 Abs. 10 G v. 5. 5.2004 I 718

Baureferat- Hochbauamt- Örtliche Denkmalschutzbehörde der Stadt Bamberg: Denkmalschutz und Denkmalpflege in Bamberg, Merseburg/Bamberg, 2003

Bayerische Vermessungsverwaltung: Luftbilder, auf www.geodaten.bayern.de am 2/12/03

Benner, J., Leinemann, K., Ludwig, A.: Übertragung von Geometrie und Semantik aus IFC-Gebäudemodellen in 3D-Stadtmodelle, in Schrenk, Manfred (Hrsg.): 9. Symposium „Computergestützte Raumplanung“ – CORP 2004, Wien, 2004

Besser, T., Schildwächter, R.: VRML in der Bauleitplanung und im städtebaulichen Entwurf, in: Schrenk, M. (Hrsg.): 5. Symposium „Computergestützte Raumplanung“ – CORP 2000, Wien, 2000

Bill, R.: Grundlagen der Geo-Informationssysteme, Band 1, Wichmann Verlag, Heidelberg, 1999

Bitmanagement Software: BS Contact VRML/ X3D, auf <http://www.bitmanagement.de>

Böhler, W.: Einsatz verschiedener Vermessungsverfahren in der historischen Bauforschung – Möglichkeiten und Grenzen, in : Werfeling, U., Heine, K., Wulf, U. (Hrsg.): Von Handaufmass bis High-Tech, Mainz, 2001

Börner, W., Gross, R., Kobermeier, F.: 2000 Jahre Stadtplanung (Stadtarchäologie und digitale Welt), in: Schrenk, Manfred (Hrsg.): 5. Symposium „Computergestützte Raumplanung“ – CORP 2000, Wien, 2000

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik: Erläuterungen zu den kritischen Infrastrukturen, auf <http://www.bsi.bund.de/fachthem/kritis/erlaeut.htm>, am 6.7.2003

Bundesgesetzblatt: Jahrgang 1977, Teil II, Nr. 10

C

Carlson, D., Hodgins. J.: Simulation levels of details for real-time animation, in: Graphics Interface, 1997, auf http://www.cc.gatech.edu/gvu/animation/Areas/simulation_levels/simlevels.html

cpe - Lehrgebiet für computergestützte Planungs- und Entwurfsmethoden in Architektur und Raumplanung, Prof. Bernd Streich, Universität Kaiserslautern: 3D-4D-Stadtmodelle-Stadtmodelle, auf <http://3d-4d.arubi.uni-kl.de>, Februar 2004

Cubic City: Entwurf am Lehrgebiet cpe von F.Adloff, L.v.Berger, Ch.Dimmer, M.Ehrle, M.Gasper, J.Greis, K.Heinz, S.Hoffmann, M.Hornberger, T.Huber, S.Krusch, M.Lehrmann, E.Osmanovic, Y.Riedel, M.Schneider, F.Welter und P. Zeile, 1999, auf http://cpe.arubi.uni-kl.de/archiv/entwurfe/cubic_city_/cubic_city_.htm

D

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: LIDAR, auf <http://www.dlr.de/ipa/Forschung/Instrumente/LIDAR>, am 1/4/2004

E

Endres, S.: Digitale Geländemodelle im Gewässerbau, auf <http://www.ibmiller.de/fach/gewaesser/DGM.html03> am 5.12.2003

Enichlmair, C., Staufer-Steinocher, P.: Locations Based Services – marktrelevante Inhalte als Erfolgsfaktoren für mobile GIS- und Telekommunikationstechnologien in Zipf/ Strobel (Hrsg.) : Geoinformation mobil, Wichmann Verlag, Heidelberg, 2002

Eyeled – Localized Mobile Systems: Pressemitteilung Aufbruch in eine neue Zeit, Völklingen, Saarbrücken, 2002

F

FarCry: Die CryEngine – Technologie, auf www.farcry.de

Forberg, A.: Untersuchung verschiedener Datenmodellierungsmethoden zur semi- automatischen Gebäuderekonstruktion für 3D-Stadtmodelle, Institut für Photogrammetrie und Ingenieursvermessung, Universität Hannover, 2000

Forkert, G., Holzer, J.: Das digitale Stadtmodell als Dokument des urbanen Raumes, in Schrenk, M. (Hrsg.): 8. Symposium „Computergestützte Raumplanung“ – CORP 2003, Wien, 2003

Forkert, G.: Der Einsatz von Laserscanning und Photogrammetrie zur Dokumentation des urbanen Straßenraumes, in Schrenk, M. (Hrsg.): 9. Symposium „Computergestützte Raumplanung“ – CORP 2004, Wien, 2004

G

Gebhardt, N.: Irrlicht Engine – A free open source 3D Engine, auf <http://irrlicht.sourceforge.net/features.html>

GEFMA: Definition FM, auf <http://www.gefma.de/Gefma/1024x768/index2.html>

Geodateninfrastruktur NRW (GDI NRW): SIG3D, auf <http://www.gdi-nrw.org/index.php?id=51> und <http://www.ikg.uni-bonn.de/sig3d>

Geoinformatik Lexikon – Universität Rostock: ALKIS, auf <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/einzel.asp?ID=62> am 1.12.03

Gerner Hansen, C.: Bauaufnahme als gezeichnete Deutungspraxis, in : Werfeling, U., Heine, K., Wulf, U. (Hrsg.): Von Handaufmass bis High-Tech, Mainz, 2001

Geonova AG: 3D- Geoinformationssystemen, auf http://www.geonova.ch/deutsch/pages/3_Anwendungen/anwendungen_gis_de.html

Geonova AG: Factsheets zu G-Vista, auf http://www.geonova.ch/deutsch/downloads/020927_Factsheet_GVISTA.pdf

Gröger, G., Kolbe, TH., Drees, R. Kohlhaas, A., Müller, H., Knospe, F., Gruber, U., Krause, U.: Das interoperable 3D-Stadtmodell der SIG 3D der GDI NRW, GDI NRW, Düsseldorf, 2004

Gunzelmann, T.: Das Stadtdenkmal Bamberg, auf <http://home.t-online.de/home/Tom.Gunzelmann/stadtdenkmal.pdf>

H

Hartman, J., Seuß, R., Zimmermann, K.: Projektbericht ALKIS – Pilothafte Realisierung des ALKIS®/ATKIS®-Datenmodells zur Abbildung bestehender und zukünftiger Anforderungen der Geodatenhaltung in der Hessischen Kataster- und Vermessungsverwaltung, TU Darmstadt, Institut für Kommunale Geoinformationssysteme, 1999

Hemmler, M., Siedler, G., Sacher, G.: Digitale Bildverzerrungen und Abwicklungen, in Werfeling, U., Heine, K., Wulf, U.: Von Handaufmass bis High-Tech, Mainz, 2001

Holzer, J., Karner, K., Lorber, G., Artes, S.: Digitale Stadtmodelle als Plattform für intuitive Stadtplanung und Bürgerinformation, in: Computerunterstützte Raumplanung, Beiträge zum 7.Symposium zur Rolle der Informationstechnologie in der Raumplanung (COPRP2002), Wien 2002.

I

IDSoftware: Technology Downloads, auf <http://www.idsoftware.com/business/techdownloads/>

ICOMOS (Internationaler Rat für Denkmäler und historische Stätten): Bamberg als Weltkulturerbe – Bewertung, in: Bamberg – Weltkulturerbe, Stadtsanierung, Stadtgestaltung

Immobilienscout24: auf <http://www.immobilienscout24.de/>

Industrieallianz für Interoperabilität: Industry Foundation Classes – IFC, München, 2002, auf <http://www.iai-ev.de>

Innenministerium des Landes Schleswig-Holstein: Digitale Daten – Eine Investition für die Zukunft, Kiel, März 2000

Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik: 3D-Scanning, auf <http://www.i3mainz.fh-mainz.de/kompetenz/laser.html> am 17.11.03

J

Jasnoch, U.: 3D-GIS – Eine wichtige Grundlage für Maßnahmen im Rahmen der Inneren Sicherheit, Fraunhofer Institut Graphische Datenverarbeitung, Darmstadt, 2003

K

Koppers, L.: Generierung von Objekten für 3D-Stadtmodelle, Dissertation an der Universität der Bundeswehr München, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, München, 2002

Kraus, H.: Scans, Prints & Proofs - Beste Ergebnisse beim Scannen und Drucken, Gallileo Press, Bonn, 2001

Krüger, A., Stahl, C.: Intelligente Navigation in 3D-Welten: Zur Rolle graphischer Abstraktion, Universität Saarbrücken, Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz, 1998

L

Landesvermessungsamt Mecklenburg-Vorpommern: Liegenschaftskataster, auf http://www.lverma-mv.de/lie_alb.htm am 1/12/03

Lenhart, M., - Lab42- Laboratorium für virtuelle und reale Architektur, Universität Siegen: Die virtuelle Besetzung des unteren Schlosses, Universität Siegen, 2002, www.lab42.de

Lenhart, M., Schildwächter, R., Zeile, P.: Das Origin Projekt, in: Nahrada, Budin, Stockinger, Schrenk (Hrsg.): CULTH2 – Die Zukunft des /digitalen/ kulturellen Erbes, Wien, 2002

Lorber, G.: Aufbau des 3D-Stadtmodells Graz. Beiträge zum 12. Internationalealen Kurs für Ingenieursvermessung, Band 2, Dümmler Verlag Bonn, 1996

Lubkowitz, M.: Webseiten programmieren und gestalten - HTML, CSS, JavaScript, PHP, Perl, MySQL, SVG, Galileo Computung, Bonn, 2003

Luser, J., Lorber, G.: 3D-Stadtmodell Graz – Anforderungen, Ansprüche, Anwendungen, in Schrenk, Manfred (Hrsg.): Beiträge zum Symposium CORP97, Wien, 1997

M

Maar, C., Burda, H. (Hrsg.): Iconic Turn - Die neue Macht der Bilder, DuMont Literatur und Kunst Verlag, Köln, 2004

Magic Maps: Videoproduktionen für den Radsport, Pliezhausen, 2003, auf <http://www.magicmaps.de/dienste/radsport.html>, am 6.9.2003

Marbs, A.: Erfahrungen mit 3D Scanning am i3mainz - 2. Oldenburger 3D-Tage - Oldenburg, 2003

Marx, C., Oberlinger, A., Wilke, M.: Das Origin Projekt, Diplomarbeit am Lehrgebiet für computergestützte Planungs- und Entwurfsmethoden in Architektur und Raumplanung, cpe, Prof. Bernd Streich, Universität Kaiserslautern, 1999

Mitchell, W.T.J.: E-Topia: Urban Life, Jim--But Not as We Know It, MIT Press, Boston, 1999

Müller, H.: 3D-Stadtmodelle, Techniken und Anwendungen. - Intergeo 2000, Tagungsband Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung. – 2000, auf http://www.i3mainz.fh-mainz.de/publicat/dgpf/Paper_DGPF.pdf

Müller-Seelisch, H., Ferschin, P.: Modellierung verteilter räumlicher Strukturen mit VRML, in Schrenk, M. (Hrsg.): 3. Symposion „Computergestützte Raumplanung“ – CORP 1997, Wien, 1997

Münz, S.: Self- HTML, Einführung / Web-Technologien / HTML, auf <http://de.selfhtml.org/intro/technologien/html.htm>, 2001

N

Nahrada, F., Budin, G., Stockinger, J., Schrenk, M. (Hrsg): Beiträge zur Konferenz CULTH2 – Die Zukunft des /digitalen/ kulturellen Erbes, Tagungsband, Wien, 2002

Nischelwitzer, A.K., Almer, A.: Interaktives 3D-Informationssystem für Planung und Tourismus, in: Schrenk, Manfred (Hrsg.): 5. Symposium „Computergestützte Raumplanung“ – CORP 2000, Wien, 2000

Noack, T., Nebiker, S., Oberli, R.: Webbasierte 3D- Landschaftsvisualisierungen: technische Spielerei oder Kommunikationsinstrument in einem anspruchsvollen Planungsprozess, in Computerunterstützte Raumplanung, Beiträge zum 7.Symposium zur Rolle der Informationstechnologie in der Raumplanung (COPRP2002), Wien 2002.

P

Pammer, A., Radoczky, V.: Multimediale Konzepte für mobile kartenbasierte Fußgängernavigationssysteme, in Zipf/ Strobel (Hrsg.): Geoinformation mobil, Wichmann Verlag, Heidelberg, 2002

Petschek, P., Hochschule für Technik Rapperswil – Institut Informationstechnologie in der Landschaftsarchitektur: Projekt gps rt 3d p, auf <http://l.hsr.ch/forschung/it-la/gps-rt-3d-p/index.htm>

Petschek, P., Lange, E.: Planung des öffentlichen Raumes - der Einsatz von neuen Medien und 3D Visualisierungen am Beispiel des Entwicklungsgebietes Zürich-Leutschenbach, in Schrenk, Manfred (Hrsg.): 9. Symposium „Computergestützte Raumplanung“ – CORP 2004, Wien, 2004

Poesch, T., Schildwächter, R., Zeile, P.: Eine Stadt wird dreidimensional: 3D Stadtmodell Bamberg, in Schrenk, Manfred (Hrsg.): 9. Symposium „Computergestützte Raumplanung“ – CORP 2004, Wien, 2004

Q

Quest3D: Specification of Quest3D Enterprise Edition, auf <http://www.quest3d.com/index.php?id=7>

R

Ringle, K.: Von Photogrammetrischer Bauaufnahme zu Gebäude_Informationssystemen, in Werfeling, U., Heine, K., Wulf, U.: Von Handaufmass bis High-Tech, Mainz, 2001

Roth, M.: Bewertung des Landschaftsbildes der Gemeinde Hinterhermsdorf, Kreis Sächsische Schweiz, mit ArcView, Hochschule für Technik und Landwirtschaft Dresden, Fachbereich Landbau/ Landespflege, 2000, auf http://www.htw-dresden.de/pillnitz/zzz_endktn/stg_lp/da_mroth/website/index.htm

RPGPlanet: Tutorial 1: Using TES Construction Set, auf <http://www.rpgplanet.com/morrowind/tamriel/tutorials/s%20fisher/tespart1.html>

S

Sayda, F., Reinhardt, W., Wittmann, E. : Positionsbezogene Dienste zur Unterstützung von Bergsteigern und Wanderern, in Zipf/ Strobel (Hrsg.): Geoinformation mobil, Wichmann Verlag, Heidelberg, 2002

Scheinwelten Echtzeit Berlin: 3D Echtzeit Visualisierung für Architektur, Städtebau und Industrie, auf <http://www.scheinwelten.de/> am 12.10.2003

Sierra Entertainment: The Official Half-Life Web Site, auf <http://half-life.sierra.com/>

Stachowiak, H.: Erkenntnisstufen zum Systematischen Neopragmatismus und zur allgemeinen Modelltheorie, in Stachowiak, H. (Hrsg): Modelle - Konstruktion der Wirklichkeit, München, 1983

Stadt Bamberg – Baureferat – Stadtplanungsamt: Bamberg – Weltkulturerbe, Stadtansanierung, Stadtgestaltung, Bamberg, 2003

Stadtplanungsamt Bamberg: Stadtansanierung / Weltkulturerbe, auf <http://www.bamberg.de/stadtplanungsamt/stadtsanierung/weltkulturerbe.htm#>

Schemberg, A.: PC-Netzwerke - Planen und Einrichten von LAN und WLAN. Inkl. Fli4L und Knoppix, Bonn, 2003

Schildwächter, R., Poesch, T., Wettels, P., Zeile, P.: 3D Stadtmodell Bamberg – Visualisierung mit 3D- Game-Engines, Vortrag im Rahmen der OWHC Regional Conference 2004 in Bamberg, Kaiserslautern, 2004

Schulte, J.G.: Wellenreiter - Technik und Standardisierung von drahtlosen Netzen, aus c't Ausgabe 6/1999

Schulz, M.: Grundlagen der Positionsbestimmung mit GPS, www.geosoft-gps.de, abgerufen am 27.5.03

Stereoskopie.de: Zur Geschichte der Stereoskopie, auf www.stereoskopie.de/Geschichte.html am 3.12.03

Streich, B., Weisgerber, W.: *Computergestützter Architekturmodellbau: CAAD – Grundlagen, Verfahren Beispiele*, Basel, Boston, Berlin, 1996

Streich, B.: *Planungsprozesse und computergestützte Informationssysteme*. In: B. Streich (Hrsg.): Kommunale Bauleitplanung durch computergestütztes Projektmanagement. Aachen, 2000

Streit, U.: Einführung in die Geoinformatik, Universität Münster, auf <http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/Geoinformatik/>

Sweeney, T.: Unreal Technology Features, Epic Games, 1999, auf <http://unreal.epicgames.com>

T

TNC - Telecommunication, Network, Consulting GmbH: CORLA auf <http://www.telnetcon.com>, am 3.12.2003

TopScan – Gesellschaft für zur Erfassung geografischer Information mbH: Laserscannermessung aus der Luft, auf www.topscan.de/luft/index.html am 3.12.2003

Troger, C.: Level of Detail, Institute of Computer Graphics and Algorithms, TU Wien, 1999, auf <http://graphics.cs.uni-sb.de/Courses/ws9900/cg/IBR.pdf>, am 5.10.2003

U

Ubisoft: Far Cry PDF Editor Manual, auf <http://www.ubi.com/DE/Downloads/Info.htm?dIId=488>

V

Viewtec AG: Terrain View - Virtual Reality basiertes Geographisches Informationssystem, auf http://www.viewtec.ch/techdiv/terrainview_d.html

Vogel, H.: 3DS Max 4, Galileo Computing, Bonn, 2001

Voigt, A.: Raumbezogene Simulation und örtliche Raumplanung, Habilitationsschrift TU Wien, 2001

W

Web3DConsortium: VRML97, ISO/IEC 14772-1:1997 -- 4 Concepts, auf http://www.web3d.org/x3d/specifications/vrml/ISO_IEC_14772-All/part1/concepts.html

Weferling, U., Heine, K.; Wulf, U. (Hrsg.): Von Handaufmass bis High- Tech : Messen, Modellieren, Darstellen; Aufnahmeverfahren in der historischen Bauforschung; interdisziplinäres Kolloquium vom 23.-26. Februar 2000, veranstaltet von der Lehrstühlen Baugeschichte und Vermessungskunde der BTU Cottbus, Mainz, 2001

Weferling, U.: Baufnahme – Eine Modellierungsaufgabe, in Weferling, U., Heine, K., Wulf, U. (Hrsg.): Von Handaufmass bis High-Tech, Mainz, 2001

Wettels, P.: Erläuterungen zur Diplomarbeit, Diplomarbeit, Lehrgebiet cpe, Universität Kaiserslautern, 2004

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie: Stichwort Open- Source, auf http://de.wikipedia.org/wiki/Open_Source, am 1.2.2004

Woo, M., Neider, J., Davis, D., Shreiner, D.: OpenGL programming guide: the officialguide to learning OpenGL, version1.2. Addison-Wesley, Reading, MA, USA, third Edition, 2003

Wycisk, P., Fabritius, H.: Mehr als nur ein Bild – Digitale 3-D-Raummodelle des geologischen Untergrundes; in GeoBIT, Heft 11/2003, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 2003

X

Xia, JC, El-Sana, J., Varshney, A.: Adaptive Real-Time Level-of-Detail-Based Rendering for Polygonal Models. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics

Z

Zipf, A., Strobl, J. (Hrsg.): Geoinformation mobil, Wichmann Verlag, Heidelberg, 2002

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: ALK-Layerstruktur [Innenministerium Schleswig Holstein 2000]</i>	<i>8</i>
<i>Abbildung 2: Klassische Katasterdarstellung und mithilfe von Objektattributen reduzierbare Darstellung [IM Schleswig Holstein 2000].....</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 3: 3D-Visualisierung der ATKIS- Daten der Gemeinde Hinterhermsdorf mit ArcView [Roth 2000].....</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 4: Aus Katasterkarte Bamberg erzeugter ALK/ DFK Datenbestand, gelb eingezeichnet Weltkulturerbebereich [Eigene Darstellung].....</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 5:Luftbild mit Ausschnitt des Weltkulturerbebereichs Bamberg. Gut zu erkennen sind neben Vegetation, Bauwerken, Strassen und Gewässern auch die durch den Sonnenstand verschatteten Gebäudeteile [Stadtplanungsamt Bamberg 2003].....</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 6:Links konventionelle Objektaufnahme mit Definition der Vektoren über die Eckpunkte der Gebäude. Rechts Laserscanaufnahme derselben Objekte. Zur Vektorendefinition müssen überflüssige Messpunkte manuell entfernt werden [Eigene Darstellung].....</i>	<i>14</i>
<i>Abbildung 7:Laserscan des Michaelerplatzes in Wien. Die Farbinformation des Goldmann & Salatsch Hauses von Adolf Loos die Farbinformation der Wiener Hofburg sind gut zu erkennen. Jeder Farbpunkt repräsentiert einen in x,y,z georeferenzierten Scanpunkt [Forkert 2004].....</i>	<i>14</i>
<i>Abbildung 8: Scan der Technischen Universität Kaiserslautern,Bau 1, Eingangsbereich [Eigene Darstellung, mit Unterstützung der Firma Innovative Systems, Hamburg].....</i>	<i>15</i>
<i>Abbildung 9: Airborne Laserscan über unebenen Gelände [TopScan 2003].....</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 10: erstes Spiegel-Stereoskop von Charles Wheatstone 1838 [Stereoskopie.de].....</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 11: Aufnahmestandorte des CityScanner und die daraus erstellte 3D-Vektorzeichnung mit Textur [Forkert & Holzer 2003].....</i>	<i>18</i>
<i>Abbildung 12: Modellierungsschema bei der bauhistorischen Aufnahme [Eigene Darstellung, nach Stachowiak 1983].....</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 13:Rekonstruktion einer Kirchturmspitze mithilfe photogrammetrischer Methoden. a) Zustand vor der Zerstörung, b) vor der Rekonstruktion, c) Rekonstruktionszeichnung nach photogrammetrischer Aufnahme, d) Rekonstruierte Kirchturmspitze heute [Hemleb, Siedler, Sacher 2001].....</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 14: Axonometrischer Rekonstruktionsversuch der Karlsburg in Durlach im Zustand von 1600 überlagert auf dem Grundriss der heutigen Stadt. So könnte die Darstellung eines 3D-Stadtmodells in Verbindung mit historischen 3D-Modellen aussehen [Bachmann 2001].....</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 15: Ausbreitungssimulation einer punktförmigen Emission [Eigene Darstellung].....</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 16: Überflutungssimulation LOD2 [Eigene Darstellung].....</i>	<i>32</i>
<i>Abbildung 17: Lärmberechnung innerhalb des 3D-Stadtmodells, Situation Grüner Markt – Kreuzung Lange Strasse [3D-4D-Stadtmodelle 2004].....</i>	<i>33</i>

<i>Abbildung 18: Simulation eines Hausbrandes, Situation Karolinenstrasse Bamberg [Eigene Darstellung]</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 19: Bamberg LOD3 vor und nach „Regnitzhochwasser“ [Eigene Darstellung]</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 20: Konzentrische Funknetzabstrahlung und Verdeckungsbereiche [TNC 2003]</i>	<i>36</i>
<i>Abbildung 21: Interaktives Modell mit Positionsanzeige für die Visualisierung der 8. Tour de France Etappe 2003 von Sallanche nach Alpe d’Huez. Eingesetzt wurde für die webgestützte Visualisierung die „Viewpoint-Model“- Technologie [MagicMaps 2003]</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 22: Interaktive Karte mit GPS- Anbindung zur Orientierung und Navigation [Magic Maps 2003]</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 23: Infrarotsender und Infrarot Bake für Positionsbestimmung [eyeled 2002]</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 24: Integration des 3D-Stadtmodells in Unreal2, Situation Grüner Markt, links barocke Kirche St. Martin [Eigene Darstellung]</i>	<i>42</i>
<i>Abbildung 25: Integration des 3D-Stadtmodells Bamberg in die Irrlicht Open Source Engine, Situation Brückenrathaus [Eigene Darstellung]</i>	<i>44</i>
<i>Abbildung 26 VRML-Szene aus Cubic City, Visualisierung eines Stadtmodells, Größe der VRML –Datei 768 KB, VRML Plugin von Bitmanagement Software [Eigene Darstellung]</i>	<i>45</i>
<i>Abbildung 27: 3D-Stadtmodell Bamberg in VRML, Navigationen innerhalb des Modells aufgrund großer Datenmenge nicht möglich [Eigene Darstellung]</i>	<i>45</i>
<i>Abbildung 28: In Quest3D durch X-Files generiertes 3D-Stadtmodell, Blick über das Brückenrathaus in Richtung Dom [Eigene Darstellung]</i>	<i>46</i>
<i>Abbildung 29: 3D-Modelle generiert aus DILAS- Server in Viewer G-Vista [Geonova AG, 2003]</i>	<i>47</i>
<i>Abbildung 30: Visualisierung mit TerrainView [ViewtechAG]</i>	<i>47</i>
<i>Abbildung 31: Aus Aluminium gefrästes Modell des Brückenrathauses und Umgebung. Angefertigt mit 3-Achs-Fräse in der Metallwerkstatt der TU Kaiserslautern von M.Dunkel. Datengrundlage ist eine Kachel des Bamberg3D-Projektes, konvertiert in das IGES – Format [Eigene Darstellung]</i>	<i>49</i>
<i>Abbildung 32: UNESCO- World Heritage- Emblem. Es verdeutlicht die Wechselbeziehung zwischen Kultur- und Naturgütern. Das zentrale Viereck symbolisiert eine vom Menschen geschaffene Form, während der Kreis die Natur darstellt; beide Formen greifen eng ineinander. Das Emblem ist rund wie die Erde, zugleich aber auch ein Symbol des Schutzes [UNESCO Deutschland 2003].</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 33: Historischer Stich der Stadtsilhouette aus dem Jahre 1740 von Johan Georg Ringlin und das heutige Erscheinungsbild – Bamberg Stadt der sieben Hügel [Stadt Bamberg]</i>	<i>51</i>
<i>Abbildung 34 von links nach rechts: Domherrenhof in der Bergstadt, barocker bürgerlicher Bau der Inselstadt und Reihe von Gärtnerhäusern in der Gärtnerstadt [Stadtplanungsamt Bamberg]</i>	<i>51</i>

<i>Abbildung 35: Übersichtskarte mit Weltkulturerbe, Grenzen der erweiterten Denkmalschutzzone und den darin abgegrenzten Siedlungsbereichen [Stadtplanungsamt Bamberg, mit eigenen Ergänzungen].....</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 36: Workflow zur Erstellung der Grundlagendaten des 3D-Stadtmodells Bamberg [Eigene Darstellung].....</i>	<i>56</i>
<i>Abbildung 37: ASCII-Zahlenkolonne als Grundlage zur DGM-Erstellung, Auszug des Innenstadtbereichs von Bamberg [Eigene Darstellung]</i>	<i>57</i>
<i>Abbildung 38: Punktwolke ausgelesen aus ASCII-Format [Eigene Darstellung] 57</i>	
<i>Abbildung 39: DGM-Freiraummodell, ausgeschnittener bebauter Bereich [Eigene Darstellung].....</i>	<i>58</i>
<i>Abbildung 40: Straßenmesspunkte verteilt auf das Stadtgebiet [Eigene Darstellung].....</i>	<i>58</i>
<i>Abbildung 41: Aus Messpunkten erzeugte 3D-Polylinien und die Darstellung von Bereichen ohne Straßenvermessungspunkte [Eigene Darstellung].....</i>	<i>59</i>
<i>Abbildung 42: Das aus 3D-Polylinien erzeugte, tin-vermaschte DGM des bebauten Bereichs [Eigene Darstellung].....</i>	<i>59</i>
<i>Abbildung 43: Extrudierter Flusskörper [Eigene Darstellung].....</i>	<i>60</i>
<i>Abbildung 44: In das DGM eingerechneter Flusskörper [Eigene Darstellung]....</i>	<i>61</i>
<i>Abbildung 45: Mit rot gekennzeichnete Straßenvermessungspunkte und Bereiche ohne Messpunkte [Eigene Darstellung]</i>	<i>61</i>
<i>Abbildung 46: Gebäude-ID, aufgeschlüsselt bedeuten die Zahlen: Bamberg_Amselweg_2 [Eigene Darstellung].....</i>	<i>62</i>
<i>Abbildung 47: Entzerrte, zusammengesetzte und retuschierte Fassaden im UNESCO-Welterbebereich Bamberg [Eigene Darstellung]</i>	<i>63</i>
<i>Abbildung 48: Links Dachstrukturen als 3D-Polylinien und rechts die georeferenzierte Überlagerung von DGM und Dachstrukturen [Eigene Darstellung].....</i>	<i>64</i>
<i>Abbildung 49: Generierte Dachstruktur aus 3D-Faces [Eigene Darstellung].....</i>	<i>64</i>
<i>Abbildung 50: Aus Polylinien extrudierte Volumina und dazugehörige Dächer [Eigene Darstellung]</i>	<i>65</i>
<i>Abbildung 51: In LandCAD mit dem DGM verschnittene Gebäudeblöcke; mit rot gekennzeichneten Verschneidungsfehler aufgrund falschen Blockreferenzpunktes [Eigene Darstellung]</i>	<i>66</i>
<i>Abbildung 52: Falsch übernommene Höheninformationen im LOD1-„Decken“-Modell; Blick auf Situation „Grüner Markt“ und „Lange Strasse“ [Eigene Darstellung].....</i>	<i>67</i>
<i>Abbildung 53: In „Wände“ konvertierte „Decken“, darüber gelagert die später zu verschneidenden Dächer.....</i>	<i>67</i>
<i>Abbildung 54: Verschneidungsfehler in ArchiCAD. Links wegen Lageungenauigkeiten zwischen Dach- und Grundrissflächen, rechts wegen nicht geschlossener Dachflächen [Eigene Darstellung].....</i>	<i>68</i>

Abbildung 55: Verschneidungsprinzip, fertig verschnittenes Gebäude und einzelne Editierbarkeit des Gebäudes, hier Brückenrathaus Bamberg [Wettels 2004 und durch eigene Darstellungen ergänzt]..... 69

Abbildung 56: Aus ArchitecturalSpace generiertes LOD1-Modell (blau) und LOD2-Modell (braun) [Eigene Darstellung]..... 70

Abbildung 57: Das Gebiet des 3D-Stadtmodells Bamberg unterteilt in einzelne Kacheln [Eigene Darstellung]..... 70

Abbildung 58: Bearbeitung und Texturierung einzelner Gebäude einer Kachel in einem 3D-Modeller [Eigene Darstellung] 71

Abbildung 59: C++ Programmstruktur der Irrlicht Engine [Eigene Darstellung] .. 72

Abbildung 60: Interaktiver Rundgang in der Irrlicht Engine [Eigene Darstellung]73

Abbildung 61: Hierarchische Quest3D- Struktur, aufgebaut in Kanälen, jede Kachel (rechte Seite) ist als DirectX- File eingelesen, auf der linken Seite die in Kanälen integrierten Verhalten [Eigene Darstellung]..... 74

Abbildung 62: Interaktiver Rundgang mit Quest3D [Eigene Darstellung]..... 75

Abbildung 63: Die Pyramiden von Gizeh auf den Grundriss der Frankfurter Innenstadt übertragen [Marx, Oberlinger, Wilke 1999]. 78

Abbildung 64: Im Frankfurter Palmengarten postierte Mediabox (links), Augmented Reality mit Darstellung der Pyramiden von Gizeh (Mitte), interaktive Exponatebox mit ausgestellten Artefakten (rechts) [Marx, Oberlinger, Wilke 1999] 79

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Eingesetzte LOD-Definition für das 3D-Stadtmodell Bamberg [nach Gröger et al 2003, ergänzt durch eigene Darstellungen und Bild LOD 4 von Scheinwelten 2003]</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 2: Anwendungsfelder und Zielgruppen für ein 3D-Stadtmodell [nach Albert, Bachmann, Hellmeier 2004].....</i>	<i>22</i>
<i>Tabelle 3: Mögliche Verwendungszwecke eines 3D-Stadtmodells im Rahmen der städtebaulichen Planung [nach Voigt 2001].....</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 4: Vergleich von 3D-Game-Engines und Echtzeitviewern als Grundlage zur Entscheidung, welches Produkt im Projekt Bamberg3D eingesetzt wird [Eigene Darstellung]</i>	<i>48</i>
<i>Tabelle 5: Auflistung der Meß- und Bilddaten für die Generierung des Modells Bamberg-3D [Eigene Darstellung].....</i>	<i>55</i>

Glossar der Fachbegriffe

3D-Enines ⇒ Technik zur dreidimensionalen Echtzeit- Visualisierung.

3Dfaces ⇒ Steht für 3D-Fläche. Wird durch maximal vier Punkte in x,y,z-Koordinate im Raum bestimmt.

3DPolylinien ⇒ Ein aus einem oder mehreren Liniensegmenten oder Kreisbögen bestehendes geometrisches Objekt [*Archmatic Glossar.de 2004*]

3DS ⇒ Austauschformat von 3D-Studio Max

A

Adaptive Level of Detail° ⇒ Level of Detail Techniken für Regionen eines einzelnen Objektes

ALB° ⇒ Abkürzung für „Automatisiertes Liegenschaftsbuch“

ALK° ⇒ Abkürzung für „Automatisierte Liegenschaftskarte“

ALKIS° ⇒ ALKIS ist ein Modell zur Zusammenführung von ALB und ALK in ein einheitliches Datenmodell in Analogie zu ATKIS und steht als Abkürzung für Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem [*Geoinformatik Lexikon 2003*]

ASCII Datei° ⇒ steht für American Standard Code of Information Interchange, dabei müssen Buchstaben für PCs in Zahlen umgesetzt werden. Diese Aufgabe erfüllt ASCII, indem es 128 Zeichen auf 128 Zahlen kodiert (0-127, sieben Bit). Der erweiterte ASCII-Standard mit acht Bit bietet 256 Zeichen Platz und enthält außer englischen z. B. auch deutsche Zeichen wie Umlaute [*Schemberg 2003*]

ATKIS° ⇒ Abkürzung für „Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem“

Animated Smooth Level of Detail ⇒ Durch Feststellung der Entfernung verschiedene Auflösungsstärken von Texturen, ermöglicht durch die Mipmap-technik

Augmented Reality° ⇒ Unter Augmented Reality (erweiterte Realität, augmentierte Realität, kurz AR) versteht man die (meist visuelle) Überlagerung (=Erweiterung) von virtueller Information mit der Realität in Echtzeit. Dabei soll die Information möglichst am richtigen geometrischen Ort dargestellt werden [*Wikipedia 2004*]

B

Backbone ⇒ Kernstück (Rückrat) eines Netzwerkes; Netzwerk mit meist höherer Geschwindigkeit, mit dem lokale Netze verbunden werden.

Backface Culling°⇒ Programminterne Nichtberechnung von verdeckten Objektflächen - erhöht die Darstellungsgeschwindigkeit [[Asanger 2001](#)]

BMP°⇒ Bitmap Grafikformat für Windows und MacOS, kann verschiedene Farbtiefen enthalten

C

C++°⇒ Windows basierende Programmiersprache

CCD-Sensoren°⇒ Bei Scannern und digitalen Kameras häufig verwendete elektronische Bausteine mit optoelektronischen Sensoren. Die nebeneinander angeordneten CCDs tasten die Vorlage zeilenweise fotografisch ab. Größe der CCDs und Zeilenvorschub bestimmen die optische Auflösung des Scanners [[Kraus 2001](#)]

Client ⇒ Computer im Netzwerk, der mit seinem Server kommunizieren kann und wegen geringer eigener Rechenleistung oder begrenzter Speicherkapazitäten auf die Informationsbereitstellung durch den Server und die Datenablage auf den selben angewiesen ist.

Client/Server-Prinzip ⇒ Prinzip der Arbeitsteilung zwischen Rechnern. Der Server stellt seine Rechenleistung dem Client zur Verfügung. Dieses Prinzip führt zu einer Steigerung der Effizienz, da jeder Rechner für die Rechenleistung vorgesehen werden kann, für die er besonders geeignet ist

D

DirectX X-Files°⇒ Austauschformat von DirectX für Spieleprogrammierung

DGM°⇒ steht für digitales Geländemodell, wird oftmals auch DEM (Digital Elevation Model) oder DHM (Digitales Höhenmodell) genannt

DXF°⇒ Abkürzung für "Drawing Exchange Format". DXF wurde von Autodesk für AutoCAD entwickelt und wird derzeit von den meisten CAD-Systemen als Datenaustauschstandard von Vektordaten benutzt [[Archmatic Glossar.de 2004](#)]

E

Echtzeit- Viewer°⇒ Echtzeit- Viewer sind Software- Produkte, die es erlauben, 3D-Elemente in Echtzeit darzustellen

EDBS°⇒ steht für Einheitliche Datenbank Schnittstelle und dient als Schnittstelle zur Übergabe von ALK- und ATKIS- Daten

F

Facility Management°⇒ Facility Management ist die Betrachtung, Analyse und Optimierung aller kostenrelevanten Vorgänge rund um ein Gebäude, ein anderes

bauliches Objekt oder eine im Unternehmen erbrachte (Dienst-) Leistung, die nicht zum Kerngeschäft gehört [[GEFMA 2003](#)]

G

Gauss- Krüger- Koordinaten System°⇒ Das Gauß-Krüger-Koordinatensystem ist eine zylindrisch-transversale Abbildung des Ellipsoiden, d.h. die Erdkugel wird auf einen Zylinder-Mantel projiziert, dessen Achse senkrecht zur Erdachse (also in der Äquatorebene = transversal) steht. Die Abbildung erfolgt jeweils regional in 3° breiten Streifen um einen sogenannten Hauptmeridian, der längentreu abgebildet wird. Als Hauptmeridiane (Mittelmeridiane) werden in Deutschland die 6°, 9°, 12° und 15° -Meridiane östlicher Länge verwendet [[Streit 2003](#)]

Geometric Level of Detail ⇒ Für jedes Objekt werden verschiedene geometrische Repräsentationen erzeugt, die abhängig von der Entfernung des jeweiligen Betrachters sind

GPRS°⇒ Abkürzung für "general packet radio service", paketorientierter Mobilfunkstandard, der schnellere Datenübermittlung als GSM erlaubt

GPS°⇒ GPS steht als Abkürzung für Global Positioning System, entstand 1973 im Auftrag des US-Verteidigungsministeriums (Department of Defense, DoD). Entwickelt wurde es als satelliten- gestütztes Radionavigationssystem NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System). GPS ermöglicht weltweit genaue Positions-, Geschwindigkeits- und Zeitbestimmungen im globalen Referenzsystem WGS84 (World Geodetic System 1984), sofern eine Entfernungsmessung durch freie Sichtbarkeit zu mindestens vier GPS-Satelliten möglich ist [[Schulz 2003](#)]

GSM°⇒ Abkürzung für "Global System for Mobile Communications". Älterer internationaler Standard für den digitalen Mobilfunk, der auch in den deutschen Mobilfunknetzen genutzt worden ist

H

Handheld°⇒ siehe auch [Mobile Devices](#)

HTML°⇒ Abkürzung Hypertext Markup Language. Vom Webgründer Tim Berners-Lee entwickelte originäre Sprache des World Wide Web, die hervorragend geeignet ist, standardisierte und wegen der weiten Verbreitung der Web-Browser praktisch überall verfügbare Sprache für Text und Hypertext darzustellen [[Münz 2001](#)]

I

IFC°⇒ Abkürzung für Industry Foundation Classes. Von der International Alliance for Interoperability definierter Standard zum objektbasierten Datenaustausch. Im Gegensatz zum DXF-Format, das nur Geometrieinformationen (Punkt, Kante, Fläche) als Information mitnimmt, tauscht das IFC-Format klassifizierte Objekte am Bau wie Türen, Fenster, Treppen aus. Das Format repräsentiert also intelligente Objekte in allen Lebensphasen des Baus. [*Industrieallianz für Interoperabilität* 2002]

IGES°⇒

J

JPG ⇒ Grafikstandard der Joint Photographic Experts Group. Ein verlustbehaftetes Kompressionsformat für farbechte Bilder. Aufgrund der hohen Kompressionsrate – gerade bei Bildern mit vielen Farben und Farbverläufen – hat sich JPEG als Quasistandard für Fotos im Internet durchgesetzt [*Lubkowitz* 2003]

L

LAN°⇒ Abkürzung für "Local Area Network": lokal angelegtes Netzwerk. "Lokal" bezieht sich in diesem Sinne auf einen gemeinsamen Standort, wie beispielsweise ein Firmengelände oder einen Raum.

Level of Detail (Informatik)°⇒ Darstellung eines Objektes für mehrere, unterschiedlich detaillierte Repräsentationen, das je nach Abstand und Stellung zum Betrachter Verwendung findet.

Level of Detail (Stadtmodelle) °⇒ Detailstufen bei der Darstellung virtueller Stadträume, angefangen von LOD 0 (Regionalmodell) bis LOD 4 (Innenraummodell)

LIDAR°⇒ Das Lidar-Verfahren (Lidar = light detection and ranging) verwendet Laserstrahlung für die Fernerkundung von Schlüsselparametern der Atmosphäre, deren genaue Kenntnis für ein Verständnis unseres Erdsystems wichtig sind [*DLR* 2004].

Local Illumination°⇒ Erhöhung der Detaillierung eines Objektes proportional zum Beleuchtungsgrad der Oberfläche

Location Based Services°⇒ Abkürzung für Location Based Services. LBS stellen auf den aktuellen Standort und den Anwender zugeschnittene Informationen bereit und ermöglichen eine Echt-Zeit-Navigation [*Baldegger* 2002]

M

Mipmap ⇒ Direct3D-Texturfilter, der Rastergrafiken mit verschiedenen implementierten Auflösungsdichten verwendet; wird für die Technik des Animated Smooth Level of Detail benötigt, um Artefaktbildung zu minimieren.

Mobile Devices°⇒ sind Computer im Westentaschenformat. Die Geräte verfügen über Büro-Funktionen wie Kalender, Adreß- oder Notizbuch und erlauben die digitale Kommunikation (z.B. für E-Mail per Handy-Modem). Die meisten Handhelds haben außerdem ein kleines Keyboard oder einen mit einer Schrifterkennung ausgestatteten Touchscreen [*Archmatic Glossar.de 2003*]

Mobile Location Services°⇒ Abkürzung für Mobile Location Services. Die MLS bieten über Mobilgeräte den Zugang auf die für den Anwender maßgeschneiderte Informationen. Diese haben einen Raumbezug, müssen aber nicht mit dem Standort des Nutzers zusammenhängen [*Baldegger 2002*]

Multimedia ⇒ Unter Multimedia versteht man das Zusammenfügen verschiedener Medien wie Bild, Ton, Filmen / Videosequenzen und Grafik.

O

OBJ°⇒°von der Firma Alias Wavefront entwickeltes Grafikformat für deren 3D-Modeller Maya

Open Source°⇒ Der englische Ausdruck Open Source steht einerseits für "quelloffen" (in dem Sinne, dass der Quelltext eines Programms frei erhältlich ist), andererseits für 'offene Quelle' (in dem Sinne, dass ein Werk frei zur Verfügung steht). Software gilt als Open Source, wenn sie bestimmte Kriterien erfüllt, die in ihrer Open-Source-Lizenz geregelt sind [Wikipedia 2004]

R

Rendern°⇒ Render-Funktionen gehören bei modernen CAD-Programmen zum normalen Leistungsumfang . Sie erlauben es aus dreidimensionalen Objekten, die in der Zeichnung lediglich als Drahtmodelle erscheinen, fotorealistische Bilder zu erzeugen.

S

Server ⇒ Ein leistungsfähiger Computer (Werkstation, etc.), der in einem vernetzten System aufgrund seiner Rechen- oder Speicherkapazität Informationen für die an ihn angeschlossenen Clients bereitstellt oder aber Daten speichert.

Shockwave ⇒ Von Macromedia entwickeltes Plugin- Format zur Präsentation von aus Flash oder Director erstellter Dateien

Silhouette boundaries ⇒ Alleinige Darstellung der Silhouette eines Objektes mit der Option, die Glätte der Kanten zu bestimmen

T

Textur° ⇒ digitales Bild, das auf die Oberfläche einer Geometrie projiziert wird

TFT° ⇒ Abkürzung für "Thin Film Transistor" und wird bei Flachbildschirmen verwendet

TIF, TIFF° ⇒ Das TIF-Format (Tagged Image File Format) ist plattformunabhängig und wird zur Ausgabe an einen Druckservice oder in DTP-Programmen verwendet. Es unterstützt die verlustfreie LZW-Komprimierung, die die Dateigröße verkleinert ohne den Inhalt des Bildes zu verändern. Zudem kann es unterschiedliche Farbtiefen, wie 16 Bit, 24 Bit und 32 Bit mit Alphakanal speichern [*Vogel 2001*]

TIN° ⇒ Abkürzung Triangulated Irregular Network. Berechnungsmodell zur vektoriellen Darstellung von (Gelände-) Oberflächen, durch Dreiecksbildung und -vermaschung. Die Delauny-Trinagulation ist die häufigst angewandte Methode

True- Ortho- Fotos° ⇒ Entzerrte Luftbilder, bei denen jeder Punkt senkrecht projiziert ist

U

UMTS° ⇒ Abkürzung für "Universal Mobile Telecommunications Systems", Mobilfunkstandard der dritten Generation, der bei einer theoretischen Übertragungsrate von 2Mbit/s die Übermittlung von multimedialen Inhalten ermöglicht

V

Visibility Culling ⇒ Nicht sichtbare Bereiche eines Objektes können stark vereinfacht oder ausgeblendet werden

VRML° ⇒ Virtual Reality Modeling Language (VRML) - oft „Wörmel“ ausgesprochen – stellt eine Technik dar, um dreidimensionale virtuelle Umgebungen abzubilden. VRML-Modelle werden aus 3D-Render-Programmen oder speziellen VRML-Editoren erzeugt. Das Format ist weitgehend plattform- wie hardwareunabhängig, benötigt allerdings zum Betrachten im Internetbrowser ein Plug-In

W

WLAN° ⇒ steht als Abkürzung für "Wireless LAN", gemeint ist hier ein kabelloses Netzwerk. WLAN-Netzwerke kommunizieren auf dem drahtlosen Übertragungsprotokoll IEEE 802.11. Durch die Einführung des Standards wurden die bis dahin proprietären wLANs zusammengefasst und die Interoperabilität zwischen den wLAN-fähigen Geräten garantiert. Mit 11 Mbps Übertragungsrate arbeitet das Funk-LAN mit einer zu herkömmlichen lokalen Netzwerken (LAN- Local Area Network) vergleichbaren Geschwindigkeit. Die

Reichweiten hängen mit der freien Sichtbarkeit zwischen Sender und Empfänger zusammen, innerhalb von Gebäuden oder in Straßenschluchten sind den Reichweiten je nach Umgebung Grenzen gesetzt. [[Schulte 1999](#)]

Ich danke an dieser Stelle meinen Eltern Dr. Ruth und Dr. Gerhard Zeile, die mich immer in meiner Studienzeit unterstützt haben und Kathrin Baur, die mir während der Arbeit immer zum richtigen Zeitpunkt die Motivationshilfen gegeben hat.

Für die Ratschläge und Hinweise bezüglich des Inhalts und der Gestaltung dieser Arbeit danke ich insbesondere:

Dem Stadtplanungsamt Bamberg, und dort insbesondere Herrn Dipl.-Geograf Karheinz Schramm, ohne dessen Hilfe und Kooperationsbereitschaft dieses Projekt nicht möglich gewesen wäre.

Prof. Dr.-Ing. Bernd Streich, der allen Studenten in seinem Lehrgebiet die Möglichkeit der freien Entfaltung anbietet.

Herrn Dr.-Ing. Klaus Trumpke, der dem Projekt durch sein Wissen und durch praktische Betreuung im Bereich der Photogrammetrie sehr viele Impulse gegeben hat.

Stadtplaner Dipl.-Ing. Ralph Schildwächter für seine intensive fachliche und persönliche Zusammenarbeit über die Jahre hinweg

Dem Rest des Teams „Bamberg3D“, Herrn Dipl.-Ing. Pierre Wettels, nicht nur für die Programmierarbeit und Herrn Tony Poesch, der immer für ein hervorragendes 3D-Rendering zu haben ist.

Sowie Herrn Michael Dunkel, der mit Rat und Tat beim CNC-Fräsen mitgeholfen hat.