

3D Stadtmodellierung

Gerald Forkert

Met GeoInfo GmbH, Wien
(Gerald.forkert@metgeoinfo.com)

Abstract. Mit diesem Beitrag möchten wir die Thematik der 3D Stadtmodellierung im Zusammenhang mit Sichtsystemen darstellen. Mit Methoden der Stadtmodellierung kann eine 3D Datenbank zur geometrischen Repräsentation eines Stadtgebietes aufgebaut werden die möglichst langfristig und flexibel für verschiedene Anwendungen nutzbar ist. In unserem Beitrag möchten wir auf folgende Punkte eingehen:

- Erstellung von 3D Stadtmodellen
- Fortführung
- Herkömmliche Nutzungen des 3D Stadtmodells
- Einsatz für Sichtsysteme

1 Erstellung von 3D Stadtmodellen

Die allgemein stark zunehmende Nachfrage nach 3D Stadtmodellen hat in den letzten Jahren zu zahlreichen Entwicklungen im Bereich Datenerfassung und Modellierung geführt, die nun bereits einen sehr hohen Automatisierungsgrad bei der Gebäudemodellierung ermöglichen. Gemeinsam mit der möglichst effizienten Nutzung von bereits verfügbaren Geodaten hat dies zu einer beachtlichen Kostensenkung geführt; oft bis zu -70% verglichen mit der Situation vor etwa 5 Jahren.

1.1 Detaillierungsgrade

Vor jeder eingehenden Beschreibung zum Thema Stadtmodell muss jedoch klargestellt werden, von welchem Detaillierungsgrad die Rede ist. Seitens der „Special Interest Group 3D“ („SIG 3D“, [1]) wurden folgende „Levels Of Detail“ („LOD“) für die Gebäudedarstellung im Stadtmodell definiert:

- LOD 0 - Regionalmodell - 2,5D Geländemodell mit Luftbildtextur
- LOD 1 - Klötzchenmodell - Gebäudeblock (Grundfläche / Gebäudeumring hochgezogen). Genauigkeit: 5m.
- LOD 2 - 3D-Modell der Außenhülle mit einfachen Dachstrukturen und evtl. Texturen. Genauigkeit: 2m.
- LOD 3 - Architekturmodell - 3D-Modell der Außenhülle mit Details wie Dachaufbauten, Erkern oder Balkonen, und evtl. Textur. Genauigkeit: 0,5m.
- LOD 4 - Innenraummodell - 3D-Modell des Gebäudes mit Etagen, Innenräumen, etc. und Texturen. Genauigkeit: 0,2m.

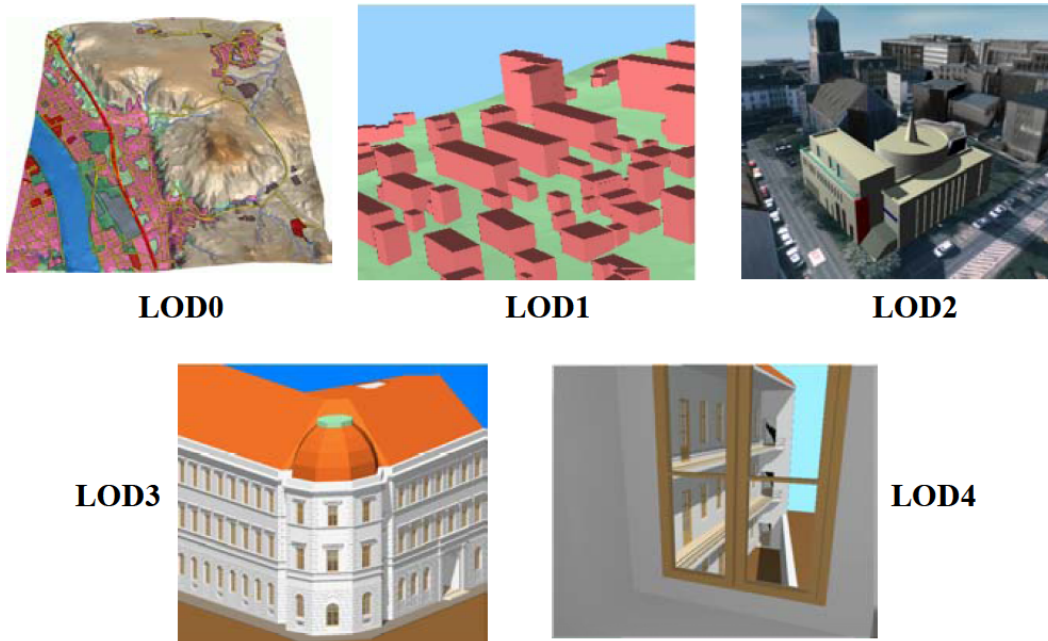


Bild 1: LOD Stufen gemäß der Definition der SIG 3D (Bildquelle: IGG Uni Bonn)

Obwohl diese Definition noch recht allgemein ist und einigen Interpretationsspielraum offen lässt, findet sie inzwischen international Verwendung und ermöglicht die grundsätzliche Unterscheidung der verschiedenen Qualitätsstufen eines 3D Stadtmodells.

1.2 Nutzung verfügbarer Geodaten

Auch im herkömmlichen 2D und 2,5D Bereich hat sich die Verfügbarkeit und die Qualität von bereits vorhandenen Geodaten in den letzten Jahren durchaus verbessert. Für die 3D Stadtmodellierung besonders wertvoll sind Geländemolldaten (siehe Bild 2) und Gebäudegrundrisse (oft auch als „Gebäudeumringe“ bezeichnet, siehe Bild 3).

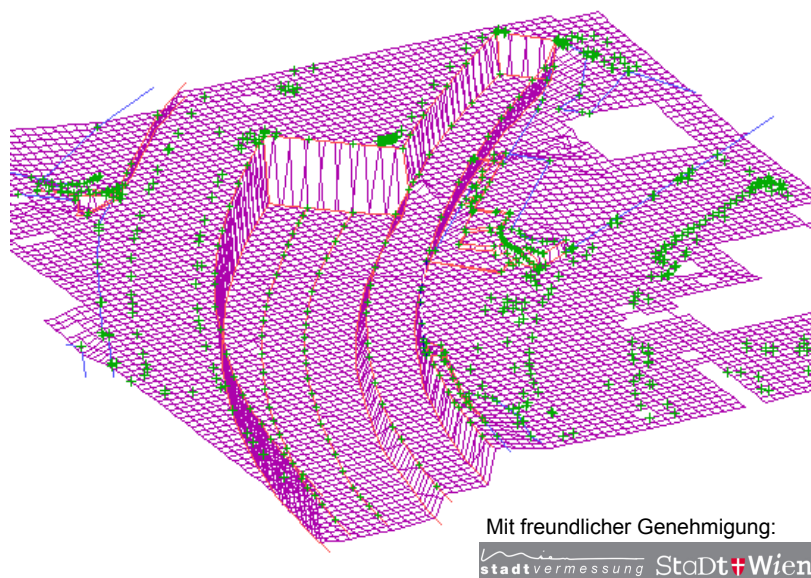


Bild 2: Geländemolldaten der Stadt Wien. Man beachte die effiziente Beschreibung von Stützmauern und Geländeeinschnitten mit Hilfe von Bruchkanten. (Bildquelle: MA 41, Wien)

Die Bedeutung des Geländemodells im Zusammenhang mit dem 3D Stadtmodell wird häufig unterschätzt. Vereinzelt Ansätze, die Stadt auf einer horizontalen Ebene darzustellen, reichen bestenfalls für eine Betrachtung im hohen Überflug aus. Daher sollten die verfügbaren Geländemodelldaten unbedingt für das 3D Stadtmodell genutzt werden. Häufig sind diese Daten in Form eines Rasters von Höhenpunkten verfügbar. Ideal für ein Stadtmodell das aus Fussgänger- oder Fahrzeugperspektive betrachtet werden soll, wäre eine Raster von 5m bis 25m Weite mit zusätzlichen Bruchkanten welche Böschungen und Stützmauern höher als ca. 0,5m beschreiben. Für viele Städte sind solche Bruchkanten aber nur in 2D vorhanden und müssen mit einem gewissen Aufwand erst in 3D Linien konvertiert werden.

2D Gebäudeumringe werden entweder aus der terrestrischen Vermessung des aufstrebenden Mauerwerks (z.B. in Deutschland) oder aus der Luftbild gestützten photogrammetrischen Vermessung des äußersten Dachrandes bzw. der „Traufenlinie“ gewonnen (z.B. im Vereinigten Königreich oder in Norwegen). Speziell in Deutschland sind diese Gebäudeumringe im Allgemeinen Liegenschaftskataster („ALK“ bzw. digitales Informationssystem „ALKIS“) enthalten und flächendeckend verfügbar. Daher werden in der Regel auch alle gebäudebezogenen Daten in Geo-Informationssystemen auf diese Gebäudeumringe bezogen. Obwohl vereinzelt Lageungenauigkeiten von mehr als 1 Meter auftreten, kann die Homogenität und die Vollständigkeit dieser 2D Gebäudeinformationen als durchwegs gut beurteilt werden.

In Ländern ohne landesweit-homogene Erfassung der Gebäudeumringe (z.B. in Österreich) liegt es meist an den Städten selbst, entsprechende Daten bereitzustellen. Generell sind in solchen Ländern 2D Gebäudeumringe in großen Städten eher verfügbar als in kleinen.



Bild 3: 2D Gebäudedarstellung in der digitalen Mehrzweckkarte der Stadt Wien (Bildquelle: Magistratsabteilung 41, Wien)

1.3 Datenerfassung

Bis hin zum LOD 1 Stadtmodell kann, zumindest in den meisten europäischen Großstädten, weitgehend aus bereits verfügbaren Geodaten modelliert werden. Lediglich für die Gebäudehöhen über Grund wird man womöglich Schätzungen, z.B. nach der Bauklassenklasse, vornehmen müssen. Für die LOD 2 Gebäudemodellierung sind luftgestützte Erfassungsmethoden wie z.B. LiDAR (Light Detection And Ranging, Bilder 4 und 5) und Photogrammetrie (auf Basis von Luftbildern, Bilder 6 und 7) optimal. Die Erweiterung auf LOD 3 erfordert zusätzliche

photographische Aufnahmen vom Boden aus, bei sehr komplexen Gebäuden kann auch terrestrisches Laserscanning hilfreich sein. Für LOD 4 sind Geschosspläne und Schnitte ideal, allerdings ist es schwierig solche Planunterlagen in einheitlicher Form für ein ganzes Stadtgebiet zu bekommen.

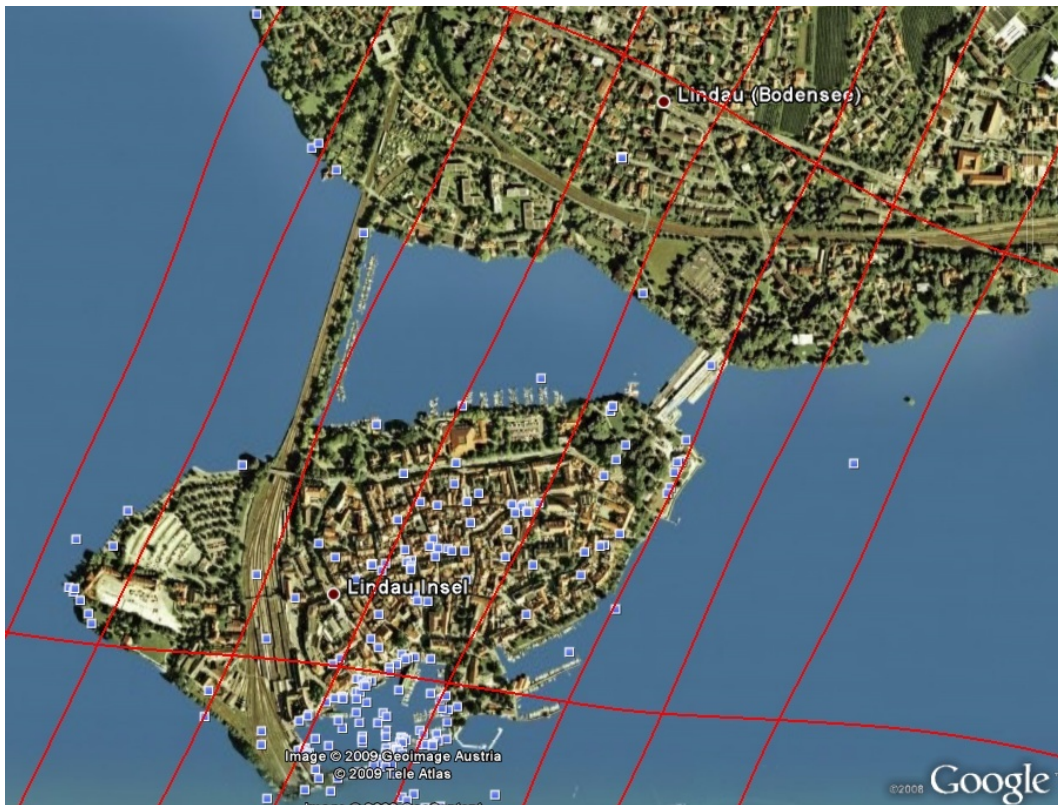


Bild 4: Trajektorien der Flugstreifen für die LiDAR Aufnahme von Lindau

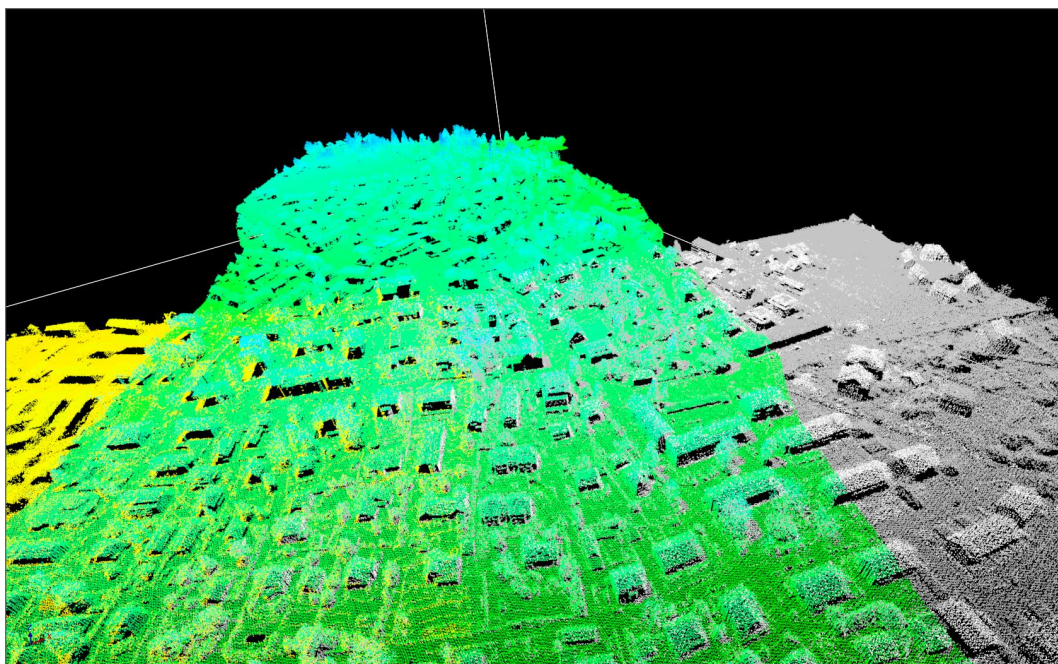


Bild 5: LiDAR Daten von Lindau mit einer Dichte von ca. 10 Punkten pro m². Überlagerung von 3 georeferenzierten Aufnahmestreifen „gelb“, „grün“ und „grau“ codiert.

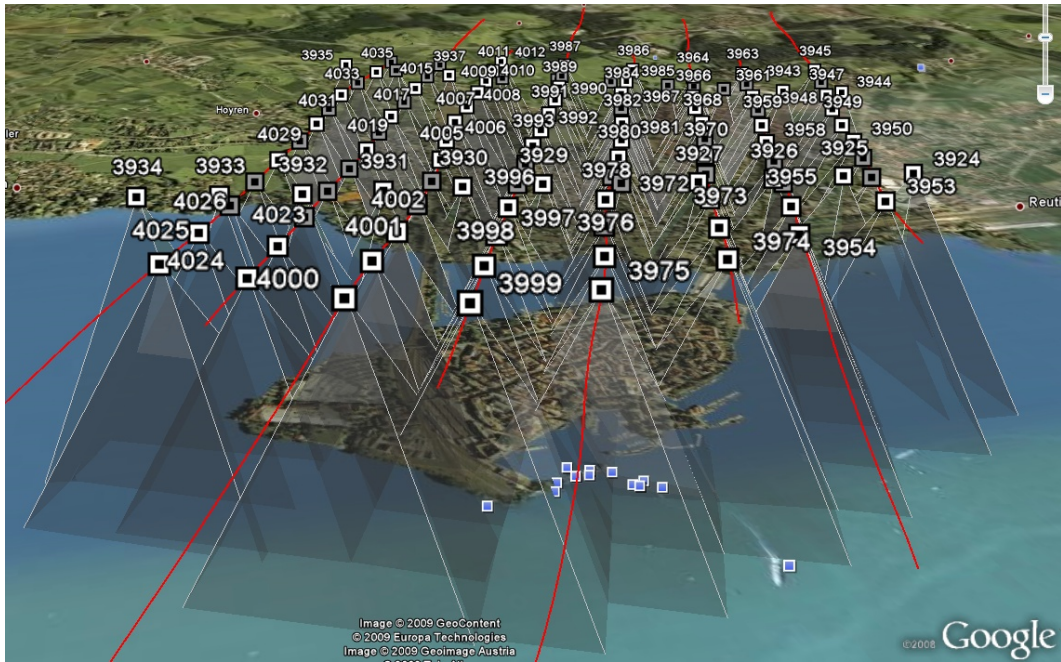


Bild 6: Typische Streifenförmige Anordnung von photogrammetrischen Luftbildern für die 3D Stadtmodellierung



Bild 7: Abbildung eines Gebäudes in mehreren verschiedenen Luftbildern. Eine zumindest 4-fache Überdeckung ist Voraussetzung für den Einsatz automatischer Verfahren.

1.4 Gebäudemodellierung

Ab LOD 2 stellt die Gebäudemodellierung eine gewisse Herausforderung dar, nicht zuletzt Dank Microsoft Virtual Earth und Google Earth gibt es aber heute einen „Massenmarkt“ für Stadtmodelle in dieser Qualität und demzufolge werden auch hoch automatisierte Modellierverfahren am Markt angeboten. Aktuell liefern automatisierte Modellierungen aus digitalen Luftbildern die besten und kostengünstigsten Ergebnisse. In Stadtzentren darf man sich dabei einen Automatisierungsgrad von

bis zu 70% erwarten, der Rest der Gebäude muss manuell zumindest nachbearbeitet werden. Pro 10.000 Gebäude liegen die Kosten oft im Bereich von € 40.000 oder sogar darunter. In der Visualisierung sind solche texturierten LOD 2 Modelle am besten für die Navigation im Überflug geeignet.

Im Falle von LiDAR Daten kann ein automatischer Algorithmus wie folgt ablaufen (z.B. „Building Generator“, [2]):

1. Analyse der vorgegebenen Gebäudeumringe im Hinblick auf die wesentlichen Gebäudeachsen und -segmente
2. Analyse der LiDAR Punktwolke für jedes einzelne Gebäudesegment und Identifikation einzelner Dachflächen (Bild 8). Da in der Praxis der Algorithmus aber selten sämtliche Dachflächen für eine vollständige Beschreibung finden kann,
3. Da in der Praxis der Algorithmus nach 2) selten sämtliche Dachflächen für eine vollständige Beschreibung finden kann, wird die gewonnene Information über die Charakteristik der einzelnen Dachflächen verwendet, um ein geeignetes vorbereitetes Standard-Dachmodell auszuwählen und an die LiDAR Daten anzupassen. In der Regel kommt man mit 5-10 Standard Dachformen aus.
4. Vereinigung aller Dachsegmente eines Gebäudes zu einem komplexen Dachmodell.
5. Verschnitt des Dachmodells mit den Original-Grundrisslinien oder Ermittlung der äußersten Dachkante nach anderen Plausibilitätskriterien (Bild 9).

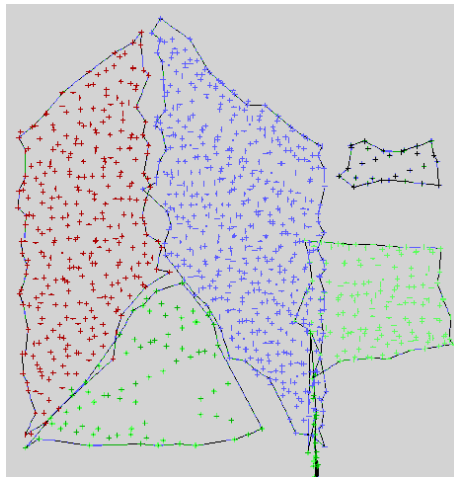


Bild 8: Identifikation und Abgrenzung verschiedener Dachflächen anhand einer LiDAR Punktwolke. Beispiel eines Walmdaches mit Vordach.

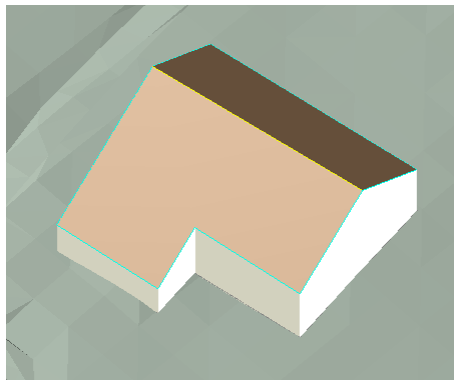


Bild 9: Verschnitt eines Dachmodells bestehen aus einem angepassten Segment „Satteldach“ mit dem vorgegebenen Grundriss.

Voraussetzung für das gute Funktionieren dieses Verfahrens sind Gebäudeumringe die bis zu einem gewissen Grad schon vor-segmentiert sind – die Beschreibung eines komplexen Gebäudes durch einen einzigen Umring ist ungünstig und muss ggf. interaktive in mehrere Gebäudesegmente je nach unterschiedlichen Dachhöhen unterteilt werden. Auch die Punktdichte spielt eine Rolle für die erfolgreiche automatische Modellierung, in Innenstädten sollten ca. 5-10 Punkte pro m² verfügbar sein.

Bei bildgestützten automatischen Modellierungsverfahren (z.B. Virtual City, [3]) muss zunächst folgender Schritt durchgeführt werden:

0. Generierung einer dichten Punktwolke durch Bildmatching.

Anschließend werden mit dieser 3D Punktwolke die oben beschriebenen Punkte 1-5 durchgeführt um automatisiert LOD 2 Gebäudemodelle zu generieren. Dank der Luftbilder kann aber auf konventionelle photogrammetrische Auswerteverfahren zurückgegriffen werden, jene Gebäude zu modellieren wo der automatische Algorithmus versagt hat. In Innenstadtsituationen dies bei ca. 30% der Gebäude erforderlich sein. Anschließend kann mit Hilfe von Luftbildern der Workflow wie folgt fortgesetzt werden:

6. Optional: Interaktive Modellierung von Dachdetails mit Hilfe der Luftbilder.
7. Automatische Texturierung der Dächer und der Fassaden mit Hilfe der Luftbilder (Bild 10).

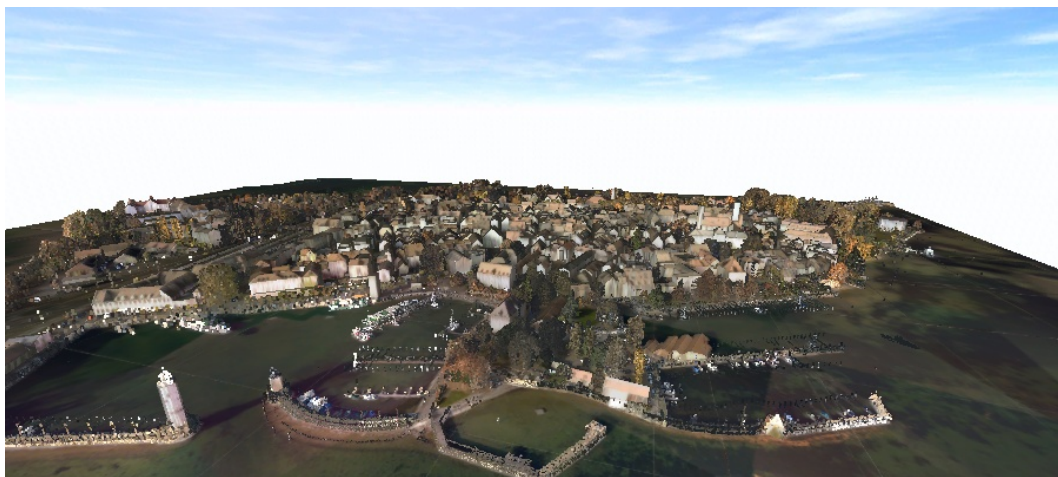


Bild 10: automatisiert erstelltes und aus Luftbildern texturiertes Stadtmodell von Lindau

Die Texturierung von Fassaden aus Luftbildern ist für die Betrachtung des Stadtmodells im hohen Überflug durchaus ausreichend. Für die Betrachtung aus der Nähe sollte jedoch auf LOD 3 übergegangen werden, also Dachdetails hinzugefügt und die Fassaden aus terrestrischen Aufnahmen texturiert werden. Solch eine Verbesserung der Detaillierung auf LOD 3 erfordert nachwievor manuelle Arbeit und hat daher meist eine Vervielfachung der Kosten pro Gebäude zur Folge, 1.000 Gebäude können dann zwischen € 10.000 und € 50.000 kosten.

Interessant ist daher die Strategie „vom Groben ins Feine“ bei der man zunächst mit einem kostengünstigen LOD 2 Stadtmodell beginnt und dann, mit zunehmender Akzeptanz bzw. Anforderung seitens der Anwender in den kritischen Bereichen schrittweise und je nach Bedarf auf LOD 3, oder noch detaillierter, verbessert. Als Voraussetzung für diese wirtschaftlich sinnvolle Strategie muss jedoch die Fortführbarkeit des Stadtmodells gewährleistet sein.

2 Fortführung des 3D Stadtmodells

Angesichts der hohen Investitionen in die Ersterstellung des 3D Stadtmodells soll dieses möglichst lange verwendbar sein, möglicherweise für Anwendungen die derzeit noch gar nicht genau festgelegt sind. Aus Kostengründen ist eventuell auch eine Mitbenutzung kommunaler

Datenbestände interessant. Alle diese Überlegungen legen die Haltung und die Fortführung des 3D Stadtmodells im Rahmen einer 3D Datenbank nahe.

2.1 3D Datenstruktur

Als Beispiel für eine am Markt erhältliche Software zur Datenbank gestützten Fortführung eines 3D Stadtmodells soll hier das System „CityGRID“ beschrieben werden, das derzeit z.B. in Wien und in Hamburg zum Einsatz kommt (www.metgeoinfo.com). Dem System CityGRID liegt eine linienorientierte Datenstruktur zugrunde bei der die Gebäudemodelle z.B. durch „Traufenlinien“, „Firstlinien“ oder „Bruchkanten“ eindeutig definiert werden. Diese Linienstruktur ist kompatibel zu den im kommunalen Geoinformationssystem bereits vorhandenen Gebäudeumringen und stellt somit eine 3D Erweiterung der vorhandenen Datenstruktur dar. Mit Hilfe von Triangulationsalgorithmen ergibt sich aus den Gebäudestrukturlinien das flächige 3D Oberflächenmodell (Bild 11).

Mit dieser hybriden Datenspeicherung lässt sich das grundsätzliche Dilemma zwischen der einfachen Erfassung und Fortführung einerseits und der optimalen Nutzbarkeit in Anwendungssystemen andererseits lösen: Mit Hilfe seiner 3D Strukturlinien kann das Gebäudemodell einfach fortgeführt und editiert werden; als Flächenmodell ist es für verschiedenste Anwendungen nutzbar, zum Beispiel auch für den Einsatz in Sichtsysteme.

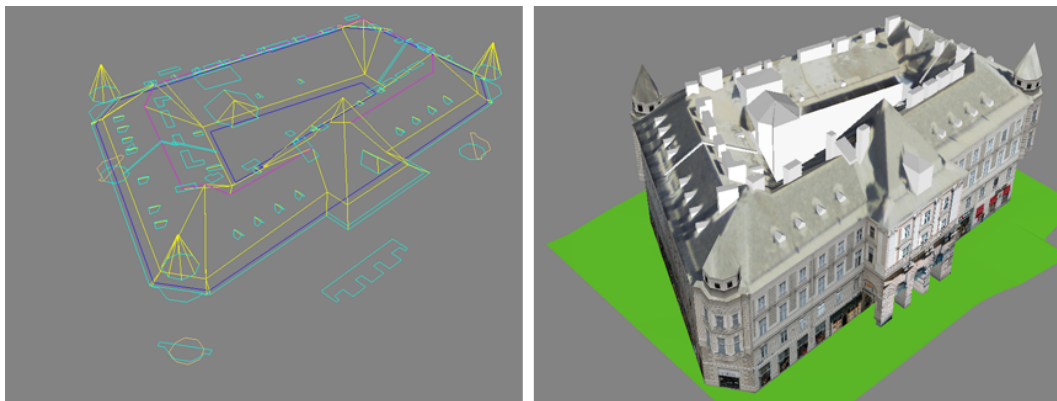


Bild 11: CityGRID Datenstruktur - Beschreibung eines Gebäudemodells durch seine Strukturlinien für die Fortführung(links), daraus abgeleitetes 3D Flächenmodell für die Nutzung (rechts)

Zusätzlich wurde in CityGRID eine hierarchische Datenstruktur realisiert (Bild 12): Die „Unit“ stellt die administrative Definition eines „Gebäudes“ im verwaltungstechnischen Sinne dar, die von Stadt zu Stadt durchaus verschieden sein kann. Jede „Unit“ kann aus mehreren „Objekten“ bestehen die sich aus der Logik der sinnvollen 3D Modellierung ergeben. Jedes Objekt ist zusätzlich in Haupt- und Detailelementkomplexe unterteilt. Dies ermöglicht die schnellere 3D Modellierung aber auch die einfachere Anwendung von LOD Konzepten.

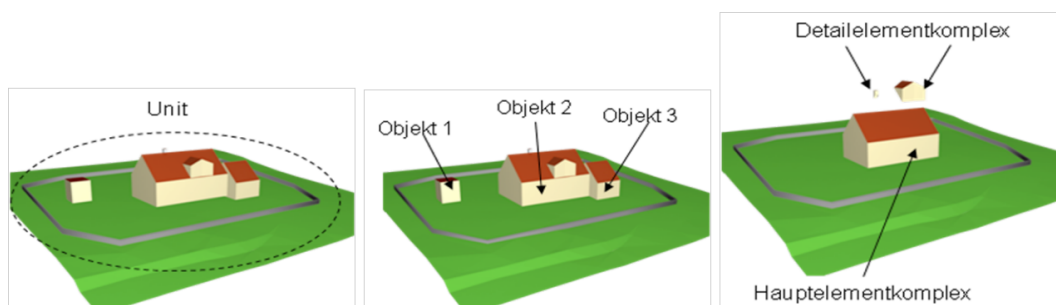


Bild 12: Hierarchische Datenstruktur von CityGRID

2.2 Funktionalitäten der 3D Datenbank

In der mit der Software CityGRID Manager verwalteten 3D Datenbank werden, wie oben beschrieben, für jedes Gebäudemodell als Primärdaten dessen 3D Strukturlinien und, als abgeleitete Sekundärdaten, das triangulierte Oberflächenmodell gespeichert. Im Hinblick auf die Fortführung des 3D Stadtmodells stehen folgende Datenbankfunktionen zur Verfügung:

- Automatische Übernahme von benutzerdefinierten Unit ID's aus einem vorhandenen Geo-Informationssystem
- Aufruf von Gebäudemodellen nach Unit ID oder Adresse
- Aufruf eines Gebäudemodells nach Bearbeitungszustand wie z.B. Datum oder Detaillierungsgrad
- Speicherung von mehreren Versionen eines Gebäudemodells
- Automatische Ableitung verschiedener LOD Stufen eines Gebäudemodells
- Automatische Ableitung von Bildpyramiden für Dach- und Fassadentexturen
- Automatische Routinen für die Datenreduktion, z.B. durch Vereinfachung der Dreiecksstruktur des Geländemodells
- Automatische Routinen für die Datenhomogenisierung, z.B. für die Anpassung von Dachtraufenlinien an vorgegebene Gebäudeumringe
- Import und Export in den verschiedensten Formaten, einschließlich der automatischen Ermittlung der Gebäudestrukturlinien aus importierten Flächenmodellen
- Etc.

2.3 3D Editierfunktionen

Für die 3D Bearbeitung der gespeicherten Gebäudemodelle steht das System CityGRID Modeler zur Verfügung. Für die Fortführung sind folgende Funktionalitäten relevant:

- Interaktive Überarbeitung der Unit- und Objektzuordnung, inkl. Teilung von Units und Aufspaltung eines Objektes auf mehrere Units
- Änderung der Gebäudestrukturlinien mit anschließender automatischer Triangulierung
- Einarbeitung von Dachdetails
- Bildung von Dachüberständen z.B. aus Traufenlinie und Gebäudeumring
- Modellierung von Balkonen, Erkern und Durchfahrten
- Texturierung von Dächern und Fassaden

2.4 Strategien zur Fortführung

Im praktischen Einsatz muss eine Software mit Hilfe der oben beschriebenen Funktionalitäten verschiedene Aspekte der „Fortführung“ des 3D Stadtmodells unterstützen:

- Zyklische Aktualisierung durch Vergleich des bestehenden 3D Stadtmodells mit einer aktuellen Datenerfassung (LiDAR oder Photogrammetrie) die z.B. alle 3 Jahre erfolgt. Dabei wird das 3D Stadtmodell gemeinsam mit den herkömmlichen 2D Geodaten aktualisiert.
- Permanente Fortschreibung des 3D Stadtmodells durch die Einarbeitung von Bauakten. Diese Strategie kommt typischerweise in kleineren Städten anstelle der zyklischen Aktualisierung zum Einsatz.

- Verfeinerung des Stadtmodells nach vordefinierten Zonen, z.B. LOD 3 Modellierung im Stadtzentrum und LOD 2 Modellierung in den übrigen Gebieten.
- Verfeinerung des Stadtmodells im Anlassfall, also kurzfristig je nach Bedarf. Häufig auch eigenständig durch den Anwender des 3D Stadtmodells.

3 Herkömmliche Nutzungen des 3D Stadtmodells

Im Folgenden einige „herkömmliche“ Anwendung abseits von Sichtsystemen beschrieben werden, die für die Entwicklung der heute verfügbaren Technologien zur 3D Stadtmodellierung mit ausschlaggebend waren.

3.1 Stadtplanung

Seitens der Stadtplanung wird das 3D Stadtmodell als Entscheidungsgrundlage bei neuen Bauvorhaben eingesetzt, gefordert ist daher die geometrische Korrektheit zur Beurteilung der Sichtbeziehungen sowie die Berücksichtigung signifikanter architektonischer Elemente, meist in LOD 2 oder LOD 3. In der Regel ist die Dachform wichtiger als Fassadendetails (Bild 13).

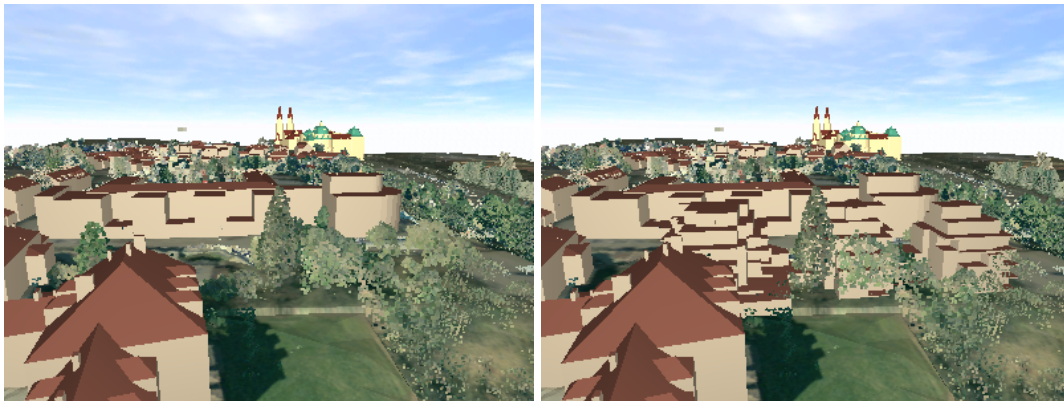


Bild 13: Simulation eines geplanten Bauvorhabens im Stadtgebiet

3.2 Lärmschutz

Lärmschützer benötigen zwar nur LOD 1 Modelle, diese dafür aber vollständig für ganze Städte. Im Gegensatz zur Stadtplanung spielt die Echtzeitnavigation bei Lärmschutzanwendungen überhaupt keine Rolle, es geht dabei lediglich um 3D Basisdaten für Simulationsberechnungen (Bild 14).

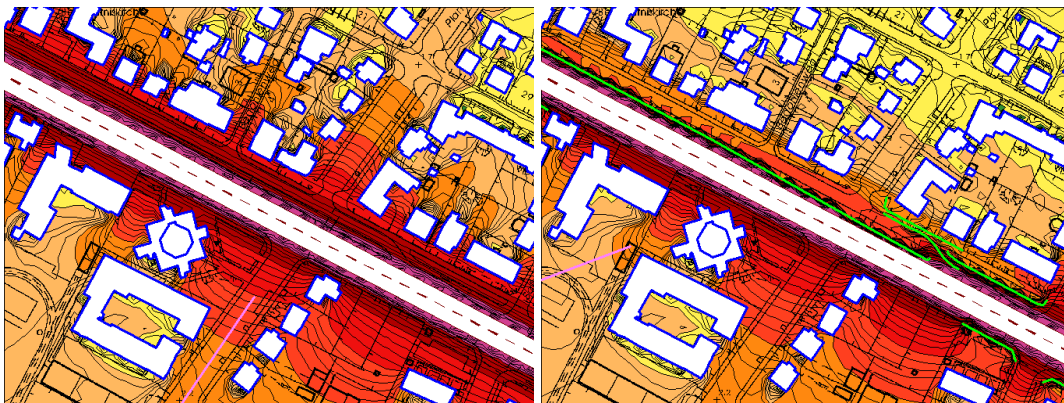


Bild 14: Ergebnisse einer Lärmsimulation für eine stark befahrene Straße (links) und bei geplanter Lärmschutzwand (rechts). Die Lärmabschattung aufgrund der Gebäude ist deutlich erkennbar. (Bildquelle: Magistratsabteilung 22 der Stadt Wien)

3.3 Fahrzeugnavigation

In den letzten Jahren werden 3D Stadtmodell­daten auch verstärkt für Zwecke der Fahrzeugnavigation nachgefragt, gefragt ist eine möglichst „sparsame“ Modellierung („low poly“) mit Schwerpunkt auf der Fassadendarstellung, vielfach werden nur Landmarks detailliert (in LOD 2 mit Textur) dargestellt (Bild 15).



Bild 15: 3D Stadtmodell von Gent für die Fahrzeugnavigation (Bildquelle: www.teleatlas.com)

3.4 Virtuelle Globen

Virtuelle Globen wie Virtual Earth oder Google Earth sind für die Betrachtung im Überflug ausgelegt, 3D Stadtmodelle müssen daher in erster Linie aus der Vogelperspektive gut aussehen, zum Einsatz kommen meist LOD 2 Modelle mit Textur aus Luftbildern (Bild 16).

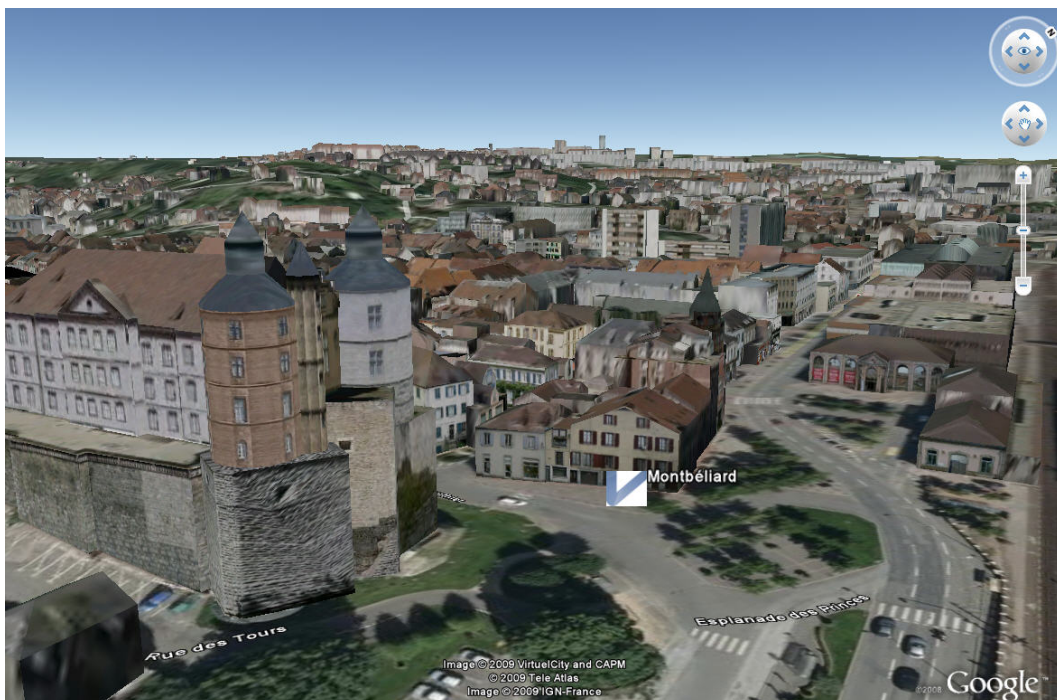


Bild 16: 3D Stadtmodell von Montbéliard in Google Earth (Quelle: www.vectuel.com)

4 Einsatz für Sichtsysteme

Ausgehend von einer wie im Abschnitt 2 beschriebenen Datenbank gestützten Verwaltung des Stadtmodells können die 3D Daten in einem geeigneten Datenformat exportiert und in das Sichtsystem importiert werden. Zuvor können noch Funktionen zur besseren Aufbereitung Daten für die Echtzeit Visualisierung angewandt werden.

4.1 Datenaufbereitung für die Echtzeitvisualisierung

Im Abschnitt 2.2 wurden bereits einige Funktionen beschrieben, mit denen die Daten im Hinblick auf eine Visualisierung aufbereitet werden könnten, z.B. die Ableitung von LOD Stufen oder die Vereinfachung des Geländemodells. Um alle Möglichkeiten eines Hochleistungs-Visualisierungssystems ausschöpfen zu können, muss eine solche Datenaufbereitung aber genau auf die spezifischen Hard- und softwaregegebenheiten abgestimmt werden. Auch die speziellen Erfordernisse der Visualisierung, wie etwa das unbedingte einhalten einer Mindest-Bildwiederholrate, haben direkten Einfluss darauf wie die 3D Daten aufzubereiten sind. Komplexe Visualisierungssysteme haben daher die Datenaufbereitung als eigenen Schritt vor der Echtzeitvisualisierung integriert. In Verbindung mit solchen Systemen sollten daher die 3D Stadtmodelldaten in der höchsten verfügbaren Qualität aus der Datenbank exportiert werden, um Qualitätsverluste in der Echtzeitvisualisierung zu vermeiden.

4.2 Datenformate

Eine vollständige Behandlung des Themas „3D Datenformate“ würde den Rahmen dieses Beitrages sprengen, die folgende Darstellung soll nur einen groben Überblick zu vermitteln. Im Bereich „3D Visualisierung“ haben sich zunächst in Folge besonders häufig eingesetzter Softwaresysteme, wie etwa 3D Studio, auch die entsprechenden softwarespezifischen Datenformate verbreitet. Ab 1997 gab es mit VRML 2.0 (Virtual Reality Modeling Language, siehe z.B. <http://www.web3d.org/x3d/specifications/#vrml97>) ein herstellerunabhängiges und standardisiertes Datenformat das für den Austausch von Virtual Reality Modellen zwischen unterschiedlichen Systemen geeignet war. In den Folgejahren wurde VRML von nahezu allen gängigen Softwarepaketen im Bereich 3D Modellierung / Virtual Reality als Import / Export Format unterstützt.

Dank dem Aufkommen einiger VRML fähiger Viewer war ab Ende der 1990er Jahre auch ein erster „Boom“ in der Generierung städtischer Virtual Reality Welten zu beobachten, besonders viele dieser Modelle entstanden im wissenschaftlichen Umfeld, z.B. als Ergebnis von Diplomarbeiten. Beim Versuch ganze Großstädte darzustellen, stieß man aber sehr bald auf Grenzen, da VRML nicht speziell für diesen Zweck ausgelegt war.

In der Folge der Verbreitung von Google Earth wird in den letzten Jahren auch zunehmend das Format KML (Keyhole Markup Language) zum Austausch von Modellen für 3D Visualisierungen eingesetzt. Seit 2008 ist KML vom Open Geospatial Consortium (OGC) als Standard anerkannt (siehe <http://www.opengeospatial.org/standards/kml/>). Für Gebäude- und Stadtmodelldaten wird in der Praxis in Verbindung mit KML oft das Format COLLADA (COLLABorative Design Activity, siehe auch <http://www.khronos.org/collada/>) eingesetzt. Ein Export eines 3D Stadtmodells kann nun wie folgt erfolgen: Die Geometrie der Gebäude wird in lokalen Koordinaten im Format COLLADA beschrieben, die Geo-Referenzierung in bezug auf das Weltkoordinatensystem erfolgt durch Einbettung in ein entsprechendes KML File.

Seit 2002 entwickelt die Special Interest Group 3D (SIG 3D) der Geodateninitiative Nordrhein-Westfalen (GDI NRW) das Datenformat CityGML (City Geography Markup Language, siehe auch <http://www.citygml.org/>) für den Austausch von virtuellen Stadtmodellen. Anders als KML, versteht sich CityGML als darstellungsunabhängiges Format das auch für die Speicherung von 3D Stadtmodellen geeignet sein soll. Seit 2008 ist CityGML als OGC Standard anerkannt. CityGML

wird von mehreren Arbeitsgruppen ständig weiter entwickelt, so sollen in Zukunft auch unterirdische Anlagen, Brücken und Netzwerke darstellbar sein.

Selbst wenn die eben angeführten Datenformate für den Import in ein konkretes Sichtsystem möglicherweise noch einzelne Schwächen aufweisen, so ist dennoch das Bemühen um standardisierte Datenformate als äußerst hilfreich einzuschätzen und eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass vorhandene 3D Stadtmodellldaten auch für den Einsatz in Sichtsystemen genutzt werden können.

Literatur

- [1] Gerhard Gröger, Thomas H. Kolbe, Angela Czerwinski: Candidate OpenGIS CityGML Implementation Specification. OGC Projektdokument OGC 07-062, 2007. Siehe auch: <http://www.ikg.uni-bonn.de/sig3d/>
- [2] Peter Dorninger, Norbert Pfeifer: A Comprehensive Automated 3D Approach for Building Extraction, Reconstruction, and Regularization from Airborne Laser Scanning Point Clouds. *Sensors*, **8** (2008), 11; 7323 - 7343.
- [3] Jibrini et al., 2000: Jibrini, H., Paparoditis, N., Deseilligny, M. and Maître, H., 2000. Automatic building reconstruction from very high resolution stereopairs using cadastral ground plans. In: IAPRS, XXXIII (Amsterdam).

