

Nicht fotorealistische Darstellung von 3D-Stadtmodellen

Stadtmodelle haben eine lange Tradition und über die digitalen Medien eine weite Verbreitung in viele Bereiche des täglichen Lebens gefunden. Zur Nutzung dieser Datenbasis im Geoweb sind international gültige Standards entwickelt worden. Basierend auf den in entsprechenden Transferformaten vorliegenden Daten lassen sich verschiedene Darstellungsformen finden. Entgegen dem Trend zu immer realitätsnäheren 3D-Darstellungen bietet die explizit nicht fotorealistische Visualisierung die Möglichkeit, den Nutzer bei der explorativen Datenanalyse zu unterstützen. Die Berücksichtigung semantischer Informationen bei der Generierung nicht fotorealistischer Darstellungen kann auf einfache Weise erfolgen, und eine an den Aufgaben des Benutzers orientierte Visualisierung lässt sich mit gebräuchlichen Softwarewerkzeugen bewerkstelligen. Generell lässt sich mit der 3D-Darstellung von Stadtmodellen eine Entscheidungsfindung unterstützen und die Zusammenarbeit zwischen den Beteiligten fördern.

Inhaltsübersicht

- 1 Geodaten als Basis räumlicher Modelle
- 2 3D-Stadtmodelle
 - 2.1 Erstellung und Anwendungsmöglichkeiten
 - 2.2 Datenstrukturen, Datentransfer und die Einbindung in das Geoweb
- 3 Nicht-Fotorealismus und 3D-Stadtmodelle
- 4 Nicht fotorealistische Darstellung des Stadtmodells der Stadt München als ETL-Prozess
 - 4.1 Aufbereitung der Eingangsdaten mit der Software FME
 - 4.2 FME zur nicht fotorealistischen Aufbereitung von 3D-Stadtmodellen
- 5 Beispiel einer nicht fotorealistischen Darstellung des 3D-Stadtmodells
- 6 Weitere Anwendungsgebiete
- 7 Literatur

1 Geodaten als Basis räumlicher Modelle

Derzeit verfügbare räumliche Datensätze umfassen zum Beispiel georeferenzierte sozio-ökonomische Daten, Infrastruktur und Daten zu Gebäuden, die zur Generierung eines 3D-Stadtmodells genutzt werden können. Diese Daten werden von der öffentlichen Hand und zunehmend von privaten Organisationen (z.B. Google, Microsoft, Nokia) und von Privatpersonen (z.B. Google SketchUp, OpenStreetMap) erstellt, aufbereitet und vermarktet. Des Weiteren gibt es eine steigende Zahl von digitalen, georeferenzierten Fotos, Videos und Satellitendaten, und auch Daten aus sozialen Netzwerken wie Facebook und Twitter sind oft georeferenziert. Häufig werden die gesammelten Daten mit einem Zeitstempel versehen. Das ermöglicht die Visualisierung der Daten einschließlich einer vierten zeitlichen Dimension. In der derzeitigen kartografischen Forschung werden »Karten« zunehmend als dynamische Visualisierungswerkzeuge von räumlichen Daten betrachtet. Damit können räumliche Daten explorativ untersucht werden und neue Erkenntnisse können aufgrund der interaktiven Visualisierung der Daten gewonnen werden. Der explorative Visualisierungsprozess kann durch die Verwendung der dritten Dimension, kombiniert mit ansprechenden Farbkombinationen, verbessert werden. Es werden daher die Möglichkeiten sowohl auf technischer Seite, z.B. verbesserte Algorithmen zur optimalen Nutzung von Übertragungsraten,

als auch innovative kartografische Kommunikationswerkzeuge, z.B. »nicht fotorealistische 3D-Stadtmodelle« und »explorative Systeme zur Analyse räumlicher Daten«, untersucht.

In der Architektur werden 3D-Modelle für einzelne Gebäude oder Gebäudekomplexe (sowohl digital als auch analog) zur effektiven Kommunikation zwischen Planer und Bauherren eingesetzt. Ein 3D-Stadtmodell ist ebenfalls ein unterstützendes Werkzeug zur räumlichen Planung. Während eines Entscheidungsfindungsprozesses kann ein visuelles Artefakt wie ein virtuelles Stadtmodell die beteiligten Akteure (z.B. Fachexperten, Planer und Entscheider) sehr viel effektiver zusammenarbeiten lassen. Durch die technische Entwicklung und die zunehmende Verfügbarkeit der digitalen georeferenzierten Daten, aber auch durch wirtschaftliche Datenerfassungsmethoden wie die des Airborne Laser Scanning oder die der digitalen Fotogrammetrie ist die Erstellung von 3D-Stadtmodellen effektiver und effizienter geworden. Städte, Gemeinden und andere Akteure, die an räumlicher Planung beteiligt sind, begrüßen daher diese Entwicklung und möchten die Möglichkeiten, die ein 3D-Modell bietet, nutzen.

2 3D-Stadtmodelle

Der Wunsch nach der 3D-Nachbildung von Städten existiert nicht erst seit der Verfügbarkeit digitaler Daten. Für die Stadt München beispielsweise wurde bereits im 16. Jahrhundert ein maßstabsgetreues 3D-Modell aus Holz erstellt. Heute existieren für das Münchner Stadtgebiet gleich mehrere digitale Stadtmodelle, die sich unter anderem hinsichtlich der Art ihrer Entstehung, des Informationsgehalts und der Datenstruktur, in der sie vorgehalten und bereitgestellt werden, voneinander unterscheiden. Eines dieser digitalen Modelle des Stadtgebiets wird von der Münchner Stadtverwaltung selbst erzeugt und vorgehalten. Am Beispiel der im Folgenden dargelegten Entwicklungsgeschichte dieses Modells lassen sich sehr gut

Anwendungsmöglichkeiten sowie Technologien und Standards für die Integration von 3D-Stadtmodellen ins Geoweb aufzeigen.

2.1 Erstellung und Anwendungsmöglichkeiten

Seit 2001 steht beim städtischen Vermessungsamt München ein digitales, dreidimensionales Modell der Stadt zur Verfügung. Nach [Bleifuss & Liebscher 2010] wurde das 3D-Stadtmodell zunächst für Anwendungen in der Stadtplanung verwendet, gefolgt von umwelttechnischen Untersuchungen wie Solarpotenzialanalysen und Lärmausbreitungsberechnungen, wie sie durch die EU-Umgebungsärmrichtlinie 2002/49/EG vorgeschrieben sind. Wichtig für derartige Anwendungen ist die naturgetreue Nachbildung der Realität, die sich hier weniger in der fotorealistischen Darstellung als vielmehr in der Genauigkeit der Lage und Form von Gebäuden widerspiegelt. Im Münchner Modell werden diese Genauigkeitsanforderungen dadurch gewährleistet, dass zum einen die Gebäudegrundrisse aus dem amtlichen Liegenschaftskataster (ein zweidimensionales Geoinformationssystem (GIS)) in die Erstellung des Modells einfließen. Zum anderen werden die Gebäude auf ein genaues 3D-Modell des Geländes (Digitales Geländemodell (DGM)) aufgesetzt. Die Nutzung von Gebäudegrundrissen aus zweidimensionalen GIS als Grundlage für die 3D-Gebäudekörper hat neben der definierten Genauigkeit einen weiteren Vorteil: Jedes Gebäude erhält so einen Identifikator, der für die Verknüpfung mit weiteren semantischen Daten genutzt werden kann. Derartige Daten sind z.B. die aktuelle Nutzung oder der CO₂-Ausstoß (z.B. [ETH Globe 2010]) eines Gebäudes. Für einige der oben genannten Anwendungen genügt es, Gebäude durch ihre extrudierten Grundrisse zu repräsentieren (sogenanntes Klötzchenmodell). Andere Anwendungen, wie z.B. die Solarpotenzialanalyse, verlangen dagegen nach einer möglichst detaillierten Modellierung der Dachstruktur.

Neben den genannten verwaltungsinterne Anwendungen entstand im Jahr 2005 in Zusammenarbeit mit Partnern aus der Privatwirtschaft auch eine 3D-Kartenapplikation für Privatnutzer [Kranz et al. 2005]. Um den für diese Anwendung gewünschten Fotorealismus zu erreichen, wurden zum einen die 3D-Geometrien der Gebäudefassaden und -dächer mit Fototexturen versehen. Zum anderen wurden für die bedeutendsten Bauwerke der Stadt sogenannte Architekturmodelle erstellt. Letztere werden mittels Computer-Aided-Design-(CAD-) Software manuell konstruiert, um so über die semiautomatische Gebäudeerzeugung mithilfe der Gebäudegrundrisse hinausgehende Details, wie z.B. komplexe Dachformen oder Fassadenelemente, naturgetreu modellieren zu können.

2.2 Datenstrukturen, Datentransfer und die Einbindung in das Geoweb

Nicht nur in der Art der Entstehung und in den Anwendungsbereichen für das Modell, sondern auch in den Punkten Datenhaltung und Datenabgabe ist die Entwicklungsgeschichte des Münchner Modells ein interessantes Fallbeispiel für digitale 3D-Stadtmodelle. Nach [Bleifuss & Liebscher 2010] wurden die anfangs in einem proprietären GIS vorgehaltenen Daten für die Datenabgabe in das Format Virtual Reality Modeling Language (VRML¹) exportiert, um sie an Kunden, z.B. Architekturbüros, abgeben zu können. VRML und andere 3D-Datenformate aus dem Bereich der Computergrafik eignen sich zwar gut für die Visualisierung von 3D-Szenen, was mittels entsprechender Plug-ins auch im Webbrowser möglich ist. Eine explizite Unterstützung für den Transfer von Geodaten (z.B. hinsichtlich geodätischer Bezugssysteme und semantischer Daten) ist bei diesen Formaten jedoch nicht vorgesehen.

Explizit für den Transfer von Geodaten im Geoweb wurde hingegen die Geography

Markup Language (GML²) entwickelt. Sie stellt in Form von XML-Schema-Dokumenten einen Modellierungsrahmen für Geodaten bereit. Dieser Rahmen definiert grundlegende XML-Elemente und -Typen für die geometrische und semantische Modellierung von Objekten der realen Welt in Form sogenannter Features (dt.: Geobjekte). Unter Nutzung des von GML vorgegebenen Modellierungsrahmens muss jeweils für einen bestimmten Anwendungsbereich ein konkretes Datentransferschema, genannt GML-Anwendungsschema, festgelegt werden. Ein GML-Anwendungsschema für die Domäne der 3D-Stadt- und Topografiemodelle definiert die City Geography Markup Language (CityGML) [OGC City GML]. Das Schema definiert Feature-Typen für die wichtigsten Realweltobjekte einer Stadt aus Bereichen wie Gebäude, Gewässer, Landnutzung, Vegetation und Verkehr, jeweils mit ihrer Geometrie und Semantik. CityGML sieht zudem vor, dass ein und dasselbe Objekt der realen Welt in unterschiedlichen Detaillierungsgraden (Levels of Detail, LOD) modelliert werden kann. Gebäude zum Beispiel können so vom LOD 1 (Klötzchenmodell, siehe Abb. 1a) bis zum LOD 4 (Innenraummodell) modelliert werden (siehe Abb. 1d).

Einhergehend mit der Umstellung auf eine datenbankbasierte Speicherung des 3D-Stadtmodells der Stadt München, wurde die Datenstruktur des Modells an CityGML angepasst. Hierbei orientierte man sich am Datenbankschema der 3D-Geodatenbank Berlin [Kolbe et al. 2009], einem frei verfügbaren Schema, für das auch freie Software zum Import und Export von CityGML-Dateien existiert.

Um auch eine Schnittstelle für die Nutzer von Google Earth anbieten zu können, musste neben CityGML auch die Keyhole Markup Language (KML) [OGC KML] als Transferformat unterstützt werden. Hierfür wurde eine Exportroutine in Form von Oracle-PL/SQL-Skripten realisiert.

1. ISO/IEC 14772-1:1997 and ISO/IEC 14772-2:2004 ... Virtual Reality Modeling Language (VRML).

2. ISO 19136:2007 Geographic Information ... Geography Markup Language (GML).

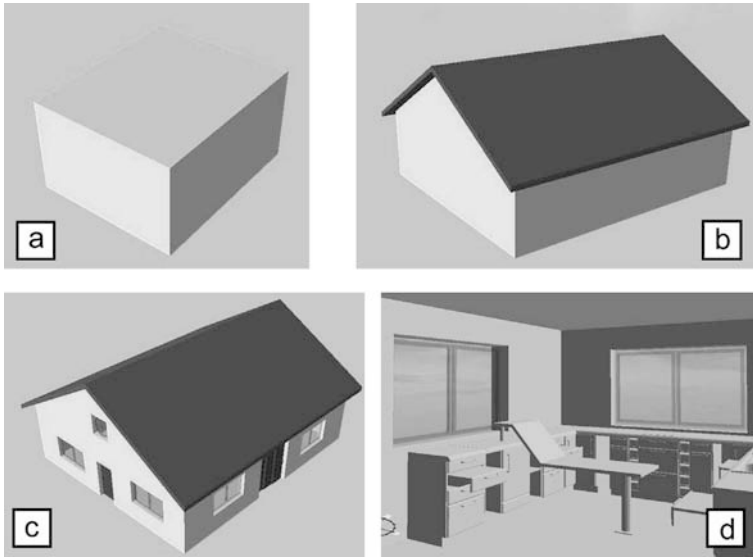


Abb. 1: Die vier Level of Detail (LOD) nach dem CityGML-Standard (aus [Fan et al. 2009])
a) LOD 1 = Klötzchenmodell, b) LOD 2 = Dachstrukturen, c) LOD 3 = Fassadenstrukturen,
d) LOD 4 = Innenraummodell

Sowohl CityGML als auch KML sind als Transferformate für Anwendungen im Geoweb geeignet, wenn auch für unterschiedliche Anforderungen. KML dient vor allem der Visualisierung und Steuerung von 3D-Geobrowsern, im Speziellen von Google Earth. CityGML deckt hingegen den Bereich der komplexeren Anwendungen ab, die neben der reinen Visualisierung auch metrische, topologische und thematische Analysen erfordern, wie sie aus klassischen GIS bekannt sind. Durch die enthaltenen semantischen Informationen sind CityGML-Daten sehr gut für die Ableitung nicht fotorealistischer Darstellungen geeignet. Beispiele für die enthaltene Semantik sind die Informationen, welche Geometrien zu einem bestimmten Gebäude gehören, ob eine bestimmte Geometrie eine Wand oder eine Dachfläche repräsentiert, oder die Information, ob es sich bei einem Gebäude um ein Wohn- oder Industriegebäude handelt. Weitere semantische Informationen können durch Verlinkung mit externen Informationssystemen in CityGML-Daten integriert werden.

Mit dem Web Feature Service (WFS) [OGC WFS] steht zudem eine vom Open Geospatial Consortium (OGC) standardisierte Schnittstellenspezifikation für einen Webservice-basierten Zugriff auf CityGML-Daten zur Verfügung. Existierende Implementierungen der Standards KML, CityGML und WFS können einer Liste des OGC (www.opengeospatial.org/resource/products) entnommen werden.

3 Nicht-Fotorealismus und 3D-Stadtmodelle

Die Geometrieinformationen und deren zugehörige semantische Daten benötigen für den Transfer zum Nutzer eine adäquate Visualisierung, die sich an den Bedürfnissen der Nutzer orientiert. Neben den als fotorealistisch bezeichneten, von Google und Microsoft bekannten 3D-Stadtmodellen gehen Entwicklungen in die Richtung einer illustrativen, abstrahierenden Darstellung. Der Nicht-Fotorealismus als Vertreter dieses Trends birgt durch seine abstra-

hierenden Eigenschaften ein großes Potenzial, die explorative Datenanalyse zu unterstützen.

Nicht-Fotorealismus oder auch das nicht fotorealistische Rendering (Non Photorealistic Rendering, NPR) ist ein junges Teilgebiet der Computergrafik. Das NPR stellt eine Vielzahl an illustrativen, expressiven und künstlerischen computergrafischen Techniken zur Verfügung [Strothotte & Schlechtweg 2002]. Seinen Ursprung hat das NPR in der Anwendung für Konstruktionszeichnungen und technische Illustrationen [Gooch et al. 1998].

Die Frage, die im Zusammenhang mit nicht fotorealistischen Darstellungen vordergründig zu klären wäre, ist der Unterschied zwischen fotorealistischen und nicht fotorealistischen Visualisierungen. Fotografien von Realweltobjekten, z.B. von Blumen, Landschaften und Gebäuden, werden durch den Betrachter als eine Abbildung des Gegenstands oder der Szene wahrgenommen. Da der Betrachter die Szene in der Fotografie so wahrnimmt, wie er sie auch in der Realität wahrnimmt, spricht man in diesem Fall vom Fotorealismus [Strothotte & Schlechtweg 2002]. Realweltobjekt und Fotografie unterscheiden sich nur marginal. Die Szene wie auch die Fotografie enthalten die gleichen Informationen, der Informationsgehalt ist in beiden Fällen derselbe. Bei nicht fotorealistischen Darstellungen werden die Informationen wie auch der Informationsgehalt der Visualisierung bewusst verändert. Die Veränderung wird durch in der Computergrafik gebräuchliche Verfahren erreicht.

Die fotorealistische Wirkung von 3D-Stadtmodellen wird durch auf die Fassade aufgebraute Texturen erzeugt. Dies liegt insbesondere daran, dass geometrisch hochdetaillierte Stadtmodelle in der Fläche bisher eine Ausnahme darstellen. Die Texturen können auf der einen Seite der wirklichen Fassade des Objekts (Gebäudes) entsprechen oder einem Texturatlas entspringen, um mit wenigen Fassadentexturen einer ganzen Stadt einen natürlichen Eindruck zu verleihen [Buchholz & Döllner 2005].

In heute gebräuchlichen Stadtmodellen werden mithilfe von fotorealistischen Texturen die Objekte annähernd so dargestellt, wie das menschliche Auge sie wahrnimmt. Im Bereich der Stadtmodelle werden niedrig aufgelöste Texturen verwendet, um Übertragungsbandbreite einzusparen und damit die Darstellung, z.B. im Web, zu optimieren.

Die verwendeten Texturen lassen in manchen Fällen kaum noch die Struktur einer Gebädefassade erkennen, sind aber unserem Verständnis von fotorealistischen Stadtmodellen trotzdem diesen zuzurechnen, auch wenn Informationen und Informationsgehalt durch eine Reduzierung der Auflösung verändert wurden. Zur Abgrenzung gegenüber dem Fotorealismus werden keine weiteren, die Textur verändernden Filterverfahren angewandt. Mögliche verändernde Filterverfahren wären Kantendetektion und -hervorhebung sowie auch die Farbquantifizierung und deren kombinierte Anwendung.

In der Kartografie werden grafische Variablen (Größe, Helligkeit, Muster, Farbe, Richtung, Form) für das Design von Karten eingesetzt. Es haben sich verschiedene Regeln zum Gebrauch dieser Variablen etabliert, die von [MacEachren 1995] um für die Bildschirmdarstellung relevante Variablen erweitert wurden. Somit lässt sich durch eine adäquate Kartengestaltung direkt Einfluss auf die kognitive Informationsverarbeitung des Menschen nehmen. Den Einsatz grafischer Variablen zur nicht fotorealistischen Visualisierung von stadträumlichen Szenen haben [Santella & DeCarlo 2004] erstmalig realisiert und mit Eye-Tracking-Versuchen deren Wirksamkeit überprüft.

Schematisierte 3D-Gebäudestrukturen setzen [Middel et al. 2009] zur Beschreibung von multidimensionalen semantischen Informationen eines parzellenbasierten Datensatzes ein. Die Darstellung der semantischen Informationen erfolgt über die grafischen Variablen Form, Farbe und Transparenz. Dies zeigt einen ersten Schritt hin zu einer schematisch abstrahierenden,

thematischen 3D-Darstellung unter Verwendung der aus der Kartografie bekannten grafischen Variablen.

Einen weiteren Schritt zur nicht fotorealistischen Darstellung von 3D-Stadtmodellen haben [Plesa & Cartwright 2008] vollzogen. Sie haben eine Stadt auf einem mobilen Gerät (Smartphone, PDA) nicht fotorealistisch visualisiert. Probanden mussten mit dem Gerät von einem Punkt A zu einem Punkt B gelangen. Durch eine sich anschließende Befragung kam heraus, dass die Probanden sehr gut mit dem abstrahierten Stadtmodell zurechtkamen und die Visualisierung gegenüber einer fotorealistischen als überlegen empfunden wurde.

3D-Stadtmodelle, wie sie heute häufig vorzufinden sind, versuchen, die Realität möglichst genau abzubilden, und bieten aus diesem Grunde kaum Raum für weitere Merkmale, die, abhängig von einer Aufgabenstellung, die Entscheidungsfindung oder den Erkenntnisgewinn unterstützen. Aus den oben genannten Gründen bietet sich eine illustrativ abstrahierende Darstellung für 3D-Stadtmodelle an. Hierzu greifen wir auf die originalen Geometrien der Gebäude zurück, heben entsprechende relevante Kanten hervor und nutzen die Variable Farbe, um die unterschiedlichen semantischen Informationen sichtbar zu machen. In den nächsten Abschnitten wird der Vorgang zur nicht fotorealistischen Darstellung unter Nutzung der Feature Manipulation Engine (FME) an einem Beispiel im Einzelnen beschrieben, um einen Eindruck zu vermitteln, wie solch eine Darstellung aussehen könnte und welche Arbeitsschritte hierfür notwendig sind.

4 Nicht fotorealistische Darstellung des Stadtmodells der Stadt München als ETL-Prozess

4.1 Aufbereitung der Eingangsdaten mit der Software FME

Für die Verarbeitung umfangreicher Geodatenbestände ist die Automatisierung von Prozessen unabdingbar. Üblicherweise steht bei den gängigen GIS-Anwendungen die Einbindung von Makros und Skripten zur Verfügung. Bedingt durch die Existenz verschiedener Datentransferformate und Datenmodelle sowie die sich daraus ergebende Erfordernis zur Konvertierung von einem Transferformat bzw. von einem Datenmodell in ein anderes, bietet sich alternativ die Modellierung der Verarbeitungsschritte als ETL-Prozess (Extract, Transform, Load) an. Diese aus dem Bereich der Data-Warehouse-Systeme bekannte Methode muss für den Bereich der Geodaten so erweitert werden, dass zum einen die im GIS- und CAD-Bereich gängigen Transferformate gelesen und geschrieben werden können und zum anderen auch spezielle Funktionen zur Transformation räumlicher Daten, wie z.B. der Manipulation von Geometriedaten, zur Verfügung stehen.

Die Software FME (Feature Manipulation Engine) von Safe Software (www.safe.com) ist ein ETL-Werkzeug, das im professionellen GIS-Einsatz weit verbreitet ist. FME beherrscht die meisten GIS-Formate sowie die gängigen Formate für CAD- und 3D-Daten und ist ebenfalls für die Einbindung von Datenbanken konzipiert. Importierte Daten werden intern in ein eigenes Feature-Format umgewandelt, das für die nachfolgenden Transformationsschritte zur Verfügung steht. Abschließend werden modifizierte Daten in das gewünschte Ausgabeformat konvertiert. Die Erstellung des Prozessablaufs findet in der sogenannten FME-Workbench statt (vgl. Abb. 2). Geodatenbezogene Transformationen, z.B. Filterung von Features nach Attributwerten oder die Generierung von räumlichen Puffern, werden

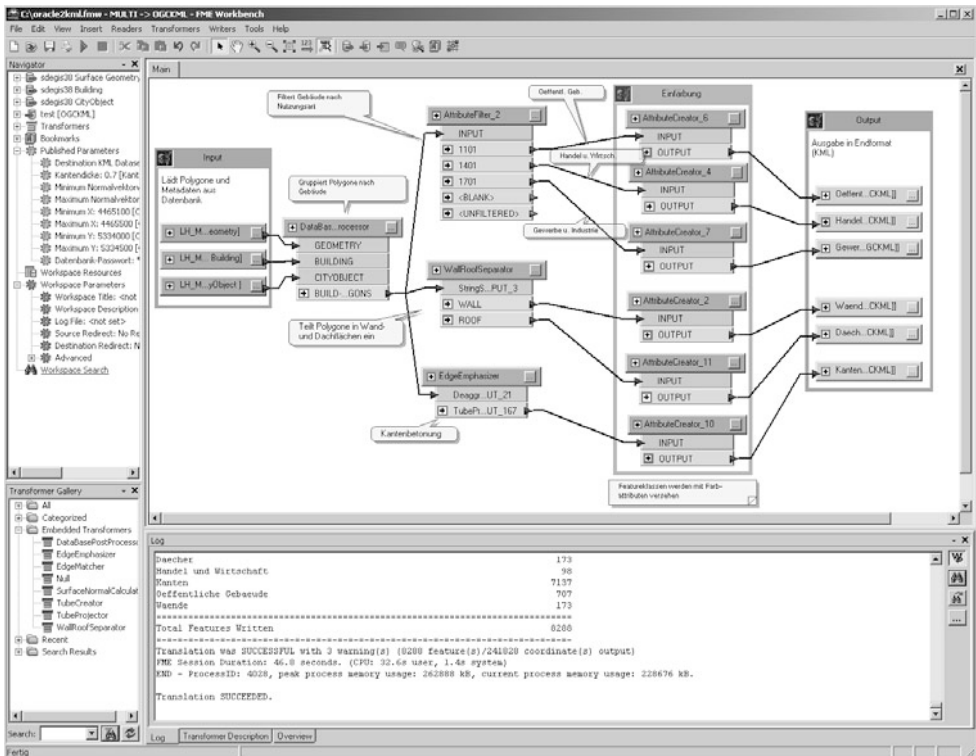


Abb. 2: FME Workbench mit schematischem Ablaufdiagramm

über als Transformer bezeichnete Funktionen in den Workflow eingebunden. Zur Kontrolle der verschiedenen Transformationsschritte können Datenströme in den sogenannten Visualizer geleitet werden, der die grafische Anzeige des momentanen Zustands der Daten im FME-eigenen Datenviewer veranlasst. Für eine anspruchsvolle Visualisierung der Daten, z.B. für die Erstellung von Karten oder Lageplänen, ist jedoch der Einsatz von klassischer GIS- bzw. CAD-Software unverzichtbar.

Im GIS-Einsatz stellt die Generierung von 3D-Stadtmodellen ein typisches Beispiel für den Einsatz von ETL-Werkzeugen dar. Die für die Erstellung von Gebäudemodellen benötigten Ausgangsdaten liegen verteilt in verschiedenen Formen vor, z.B. als Laserscan-Daten oder digitale Liegenschaftskarte, und müssen in ein

gemeinsames Datenmodell und -format konvertiert werden. Zur Einbindung ins Geoweb bieten sich die oben genannten Transformate und Webdienste an, die alle von FME bzw. der Servervariante »FME Server« erzeugt werden können. Für die persistente Speicherung der Daten des 3D-Stadtmodells können mittels FME diverse Geodatenbankmanagementsysteme wie Oracle oder PostGIS angesprochen werden. Das FME-interne Feature-Format erlaubt eine formatunabhängige Bearbeitung der Daten. Es kann ein einheitlicher ETL-Prozess verwendet werden, der lediglich im Zielformat angepasst werden muss. Bei der Ableitung von 3D-Daten beherrscht FME sowohl GIS-typische Formate wie CityGML, KML oder Shape als auch allgemeine 3D-Formate wie VRML, X3D (www.web3d.org/x3d/) oder 3D-PDF.

Für die 3D-bezogene Manipulation von Geometriedaten stehen Werkzeuge wie Aggregation von Flächen zu 3D-Körpern oder Extrusion zur Verfügung. FME unterstützt hierbei auch die Transformation zwischen den beiden gängigsten Repräsentationsformen für 3D-Geometrien. Bei den in GIS üblichen, sogenannten »Boundary Representations« werden Geometrien durch ihre Ränder repräsentiert, d.h. 3D-Körper durch ihre Randflächen, die Randflächen durch ihre Randlinien und die Randlinien durch ihre Randpunkte. Bei der aus dem CAD-Bereich bekannten Form »Constructive Solid Geometry« werden aus primitiven 3D-Körpern wie Quader und Kugel durch Mengenoperatoren wie Schnitt oder Vereinigung komplexe 3D-Körper zusammengesetzt.

4.2 FME zur nicht fotorealistischen Aufbereitung von 3D-Stadtmodellen

Die Fähigkeiten von FME hinsichtlich der Verarbeitung dreidimensionaler Daten können nicht nur für eine Generierung von einfachen 3D-Stadtmodellen herangezogen werden, sondern auch für eine derartige Aufbereitung der Daten sorgen, die eine nicht fotorealistische Darstellung von 3D-Stadtmodellen ermöglicht. Dies soll beispielhaft am 3D-Gebäudemodell von München demonstriert werden: Die Ausgangsdaten des 3D-Modells werden in einer Oracle-Datenbank in einem an den Standard CityGML

angelehnten Datenbankschema vorgehalten. Es liegen sowohl die Geometriedaten als auch semantische Daten, wie z.B. die Nutzungsarten der Gebäude, vor. Es erfolgt eine getrennte Datenhaltung, d.h., semantische Informationen und Geometrie werden in jeweils unterschiedlichen Relationen gespeichert. Über die Gebäude-ID können mithilfe von FME einzelne Flächen zu Gebäuden zusammengesetzt werden. Um den räumlichen Eindruck zu verstärken, werden anschließend mit FME die Kanten betont. Über die Nutzungsart können einzelne Gebäude in Klassen eingeteilt werden, die durch das Hinzufügen von Farbattributen visualisiert werden können (vgl. Abb. 3).

Kantenhervorhebung

Die Betonung von Kanten wird realisiert, indem an die Position der Kanten eines jeden Polygons ein länglicher Zylinder angebracht wird. Zunächst werden die Koordinaten der Kanten von jedem Flächenstück bestimmt. Da angrenzende Polygone sich eine gemeinsame Kante teilen, werden im nächsten Schritt doppelte Kanten entfernt. Anschließend wird für jede Fläche der zugehörige Normalenvektor ermittelt. Ist der Schnittwinkel der Normalenvektoren zweier angrenzender Flächen innerhalb eines Gebäudes sehr klein (ca. 15°), so ist die dazugehörige Kante für die Form des Gebäudes wenig charakteristisch und kann somit eliminiert werden. Für die

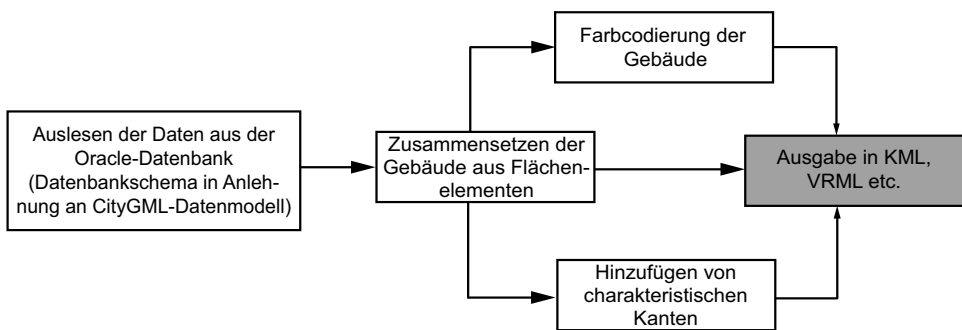


Abb. 3: Ablaufschema zur nicht fotorealistischen Visualisierung von 3D-Stadtmodellen

darzustellenden Kanten werden zuerst einheitliche Zylinder erzeugt. Anhand der Koordinaten des Anfangs- und Endpunkts einer jeden Kante wird der Zylinder in die entsprechende Position bewegt. Werden im Ausgabeformat Zylinder als Aggregation mehrerer Vierecke dargestellt, so können zur Reduzierung der Daten auch regelmäßige Prismen mit wenigen Seiten verwendet werden.

Visualisierung semantischer Informationen

Enthält das 3D-Stadtmodell neben reinen Geometriedaten auch zusätzliche semantische Inhalte, so kann die dahinterliegende Information durch Steuerung der grafischen Ausprägung der Geometriedaten visuell übermittelt werden. Im vorliegenden Stadtmodell ist neben der semantischen Information, welche Geometrien zu einem bestimmten Gebäude gehören, für jedes Gebäude zusätzlich die Nutzungsart als numerischer Schlüssel beigefügt. Die Darstellung der einzelnen Nutzungsarten lässt sich zum Beispiel über eine entsprechende Einfärbung der jeweiligen Gebäude realisieren.

Aus technischer Sicht kommen prinzipiell zwei Möglichkeiten für die Visualisierung semantischer Informationen in Betracht.

Im Fall A wird die grafische Aufbereitung der Geodaten, also z.B. die Zuweisung von Farben zu Geometrien, auf dem Rechner des Nutzers durchgeführt. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn die Daten in leistungsfähigen 3D-GIS-Viewern wie ESRI's ArcScene dargestellt werden, die eine Einfärbung durch GIS-typische Aktionen wie die thematische Selektion von Daten und die Verwendung von Gestaltungswerkzeugen zulassen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Daten des Stadtmodells in einem Transferformat (z.B. CityGML) vorliegen, das die gesamten geometrischen und semantischen Daten des 3D-Stadtmodells enthält.

Im Fall B findet die grafische Aufbereitung der Daten bereits vor dem Datentransfer zum Nutzer statt. Für den Datentransfer muss in diesem Fall ein Format verwendet werden, das

neben der Übertragung der Geometrien auch den Transfer von Informationen zur grafischen Ausprägung der Geometrien zulässt (z.B. KML). Der Transfer von semantischen Daten zum Nutzer ist in diesem Fall nicht nötig. In seiner extremsten Form werden im zweiten Fall zum Rechner des Nutzers nur noch Rasterbilder von 3D-Ansichten übertragen. Ein entsprechender Datenaufbereitungsprozess ist bei [Kolbe 2008] beschrieben.

Im vorliegenden Beispiel werden die Gebäude mit FME nach ihrer Nutzungsart in entsprechende Klassen aufgeteilt. Jeder Gebäudeklasse wird ein Farbattribut hinzugefügt, auf das beim Schreiben der Ausgangsdaten zugegriffen werden kann, sodass gemäß dem oben beschriebenen Fall B im Zielformat Gebäude die entsprechende Färbung aufweisen. Semantische Informationen werden also durch Umwandlung in Farbwerte weitergereicht, wie sie z.B. im Transferformat KML vom Server zum Client übertragen werden können.

5 Beispiel einer nicht fotorealistischen Darstellung des 3D-Stadtmodells

Beispielhaft haben wir ein Teilgebiet des Münchner Stadtmodells nicht fotorealistisch aufbereitet (vgl. Abb. 4). Dies ist, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, mit FME durchgeführt worden. Als Ausgabedateiformat haben wir in diesem Fall KML gewählt, um die Anzeige mit einem frei verfügbaren Viewer (Google Earth) auf verschiedenen Plattformen sicherzustellen. Die semantischen Informationen, wie die Nutzung der Gebäude (z.B. Gewerbe, öffentliche Gebäude sowie Handel und Wirtschaft), sind in Abbildung 4 »farbcodiert« dargestellt, um den Nutzern einen schnellen und eingängigen Überblick über die Nutzungsverteilung zu gewähren.

Zur Unterscheidung der verschiedenen Nutzungsarten verwenden wir die grafische Variable »Farbe« für die Flächen und »Strichstärke« für die Kanten der Gebäude. Abbildung 5 gibt einen



Abb. 4: Vergleich einer fotorealistischen Darstellung (Google) links und einer nicht fotorealistischen Darstellung (aus den Daten der Stadt München, LOD 2) rechts; grau = öffentliche Gebäude, weiß = Handel & Wirtschaft, schwarz = Gewerbe & Industrie



Abb. 5: Anwendung der grafischen Variablen »Strichstärke« und »Farbe« sowie deren Kombination zur Hervorhebung der Gebäudenutzung; links: nur Strichstärke, Mitte: nur Farbe, rechts: Kombination

Detaileindruck der Anwendung der beiden Variablen wieder. In dem linken Teilbild ist zur Unterscheidung die Strichstärke des betreffenden Gebäudes gegenüber den umliegenden verändert worden. Im mittleren Bild ist die Strichstärke nicht verändert, dafür sind die Gebäudeflächen mit einer entsprechenden Farbe versehen worden.

Im rechten Bild findet sich eine Kombination beider grafischer Variablen wieder, um die entsprechenden Gebäude visuell in den Vordergrund zu rücken.

Mit der variablen Strichstärke zur Kantenbetonung muss, insbesondere wenn viele Kanten nahe beieinander liegen, sorgsam umgegangen werden, da es sonst zu Überdeckungseffekten kommen kann. Dies würde zu einer deutlich schwierigeren Identifizierung der einzelnen Gebäude und zu einem negativen Gesamteindruck führen.

6 Weitere Anwendungsgebiete

Mit dem hier beschriebenen Verfahren konnte gezeigt werden, wie nicht fotorealistische Darstellungen von 3D-Stadtmodellen erzeugt und mittels geeigneter Transferformate und Webdienste in das Geoweb integriert werden können. Voraussetzung hierfür ist die Verfügbarkeit von semantisch-geometrischen Daten, deren Struktur zum Beispiel durch das Datenmodell des Standards CityGML vorgegeben wird. Die hier beschriebenen Tests wurden mithilfe von Daten des Stadtmodells der Stadt München durchgeführt. Das Verfahren und auch seine Umsetzung in Form eines ETL-Prozesses sind jedoch auf jedes Stadtmodell übertragbar, das gemäß diesem Standard strukturiert ist.

In Zukunft ist von einer weiteren und intensiveren Verbreitung von virtuellen 3D-Stadtmodellen insbesondere mit innovativen

Darstellungsformen (wie nicht fotorealistische Modelle) auszugehen. Die Städte und Kommunen zeigen ein großes Interesse sowohl in Deutschland als auch international. Etablierte Planungsprozesse und neue Anwendungsbereiche (zum Beispiel das stadtinterne Fußgänger-Routing auf Mobiltelefonen) können diese Modelle nutzen und innovativ einbinden. Offene Datenformate sind dabei, sich zu etablieren. Langfristig wird möglicherweise eine offene Datenerfassungsplattform ähnlich dem OpenStreetMap-Konzept eine Möglichkeit zum kostenfreien Zugang zu räumlichen 3D-Stadtmodell-Informationen und Darstellungsmöglichkeiten bieten.

7 Literatur

- [Bleifuss & Liebscher 2010] *Bleifuss, R.; Liebscher, J.*: CityGML und Facility Management ... Perspektiven für das 3D-Stadtmodell München. In: Schilcher, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 15. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme 2010, München, 8.-11.03.2010.
- [Buchholz & Döllner 2005] *Buchholz, H.; Döllner, J.*: View Dependent Rendering of Multiresolution Texture Atlases. Proceedings of the 16th IEEE Visualization 2005, Minneapolis, 2005.
- [ETH Globe 2010] Die Stadt der Zukunft. ETH Globe (2010), 2, www.ethz.ch/about/publications/globe/archive/eth_globe_10_02_futurecities.pdf, S. 35.
- [Fan et al. 2009] *Fan, H.; Meng, L.; Jahnke, M.*: Generalization for 3D Buildings Modeled by CityGML. In: Sester, M.; Bernard, L.; Paelke, V. (eds.): Advances in GIScience. Springer-Verlag, Berlin, 2009.
- [Gooch et al. 1998] *Gooch, A.; Gooch, B.; Shirley, P.; Cohen, E.*: A non-photorealistic lightning model for automatic technical illustration. Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, Orlando, USA, 1998, pp. 447-452.
- [Kolbe 2008] *Kolbe, Th.*: CityGML, KML und das Open Geospatial Consortium. In: Schilcher, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 13. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme 2008, München, 26.-28.02.2008.
- [Kolbe et al. 2009] *Kolbe, Th.; König, G.; Nagel, C.; Stadler, A.*: 3D-Geo-Database for CityGML Documentation, <http://opportunity.bv.tu-berlin.de/software/documents/32>; Zugriff am 24.06.2010.
- [Kranz et al. 2005] *Kranz, O.; Siegert, F.; Liebscher, J.; Lehmann, F.; Hirschmüller, H.*: Generierung interaktiver 3D-Stadtinformationssysteme aus Daten der High Resolution Stereo Camera (HR-SC) am Beispiel des 3D-Stadtplans München. AGIT 2005.
- [MacEachren 1995] *MacEachren, A. M.*: How Maps Work: Representation, Visualization and Design. The Guilford Press, 1995.
- [Middel et al. 2009] *Middel, A.; Guhathakurta, S.; Hagen, H.; Olech, P.-S.; Höpel, F.*: Visualizing Future 3-Dimensional Neighborhoods in Phoenix: An Application Incorporating Empirical Methods with Computational Graphics. In: Hui, L.; Batty, M. (eds.): Virtual Geographic Environments. Science Press, Beijing, 2009, pp. 87-102.
- [OGC CityGML] *OGC: OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard Version 1.0.0*, OGC-Dokument 08-007r1, www.opengeospatial.org/standards/citygml.
- [OGC KML] *OGC: Keyhole Markup Language (KML), Version 2.2.0*, OGC-Dokument 07-147r2, www.opengeospatial.org/standards/kml.
- [OGC WFS] *OGC: OpenGIS Web Feature Service (WFS) Implementation Specification*, OGC-Dokument 04-094, www.opengeospatial.org/standards/wfs.
- [Plesa & Cartwright 2008] *Plesa, M. A.; Cartwright, W.*: Evaluating the Effectiveness of Non-Realistic 3D Maps for Navigation with Mobile Devices. In: Meng, L.; Zipf, A.; Winter, S. (eds.): Map based Mobile Services: Design, Interaction and Usability. Springer-Verlag, Berlin, 2008.
- [Santella & DeCarlo 2004] *Santella, A.; DeCarlo, D.*: Visual interest and NPR: an evaluation and manifesto. Proceedings of the 3rd International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering, Annecy, 2004.
- [Strothotte & Schlechtweg 2002] *Strothotte, T.; Schlechtweg, S.*: Non-Photorealistic Computer Graphics: Modeling, Rendering and Animation. Morgan Kaufmann, San Francisco, 2002.

Dipl.-Ing. Mathias Jahnke
Thomas Berger B.Sc.
Dr. Jukka Krisp
Technische Universität München
Lehrstuhl für Kartographie
Arcisstr. 21
80333 München
mathias.jahnke@bv.tum.de
thb11@web.de
jukka.krisp@bv.tum.de
www.carto-tum.de

Dr.-Ing. Andreas Donaubaue
ETH Zürich
Institut für Geodäsie und
Photogrammetrie, Gruppe GIS
Wolfgang-Pauli-Str. 15
CH-8093 Zürich
donaubaue@geod.baug.ethz.ch
www.gis.ethz.ch

Anzeige



Staffan Nöteberg

**Die Pomodoro-Technik
in der Praxis**

Der einfache Weg, mehr in
kürzerer Zeit zu erledigen

2011, 157 Seiten, komplett in Farbe,
Broschur, € 19,90
ISBN 978-3-89864-717-5



dpunkt.verlag

Ringstraße 19 B · D-69115 Heidelberg · fon: 0 62 21 / 14 83 40
fax: 0 62 21 / 14 83 99 · e-mail: bestellung@dpunkt.de · www.dpunkt.de