

# 3D-Gebäudemodelle für die Bauphysik

Rebecca MÜLLER-SIEGERT<sup>a,1</sup> & Heinz-Jürgen PRZYBILLA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Labor für Photogrammetrie, Hochschule Bochum, vorname.name @hs-bochum.de

**Abstract.** Innerhalb des Projektes GEKIS werden an der Hochschule Bochum 3D-Gebäudemodelle für ein bauklimatisches Informationssystem auf Basis von Google Earth entwickelt. Dieses System und die dazugehörigen Modelle entstehen in enger Zusammenarbeit mit Bauingenieuren und Immobilienunternehmen und sind für die Analyse kleinräumlicher Gebäudebestände optimiert. Zum Erreichen dieses Ziels fand eine Abwendung von den massiven oder extrudierten Stadtmodellen und eine Zuwendung zu einer rein vektorbasierten Modellierung statt. Die dadurch entstehenden Modelle sind hochdynamisch mit Datenbankabfragen verknüpft. Neben der rein visuellen Darstellung von Sachinformationen erlaubt dieses System auch eine Neuberechnung der in der Datenbank gespeicherten Werte und deren visuellen Umsetzung innerhalb der dargestellten Modelle.

**Keywords.** GIS, 3D-Modelle, Google Earth, Bauklimatik, Mikroklima, Informationssystem, PostgreSQL/Postgis

## Einleitung

Die Anforderungen der Bauphysik an ein 3D-Gebäudeinformationssystem stellen die Geoinformatik vor neuen Herausforderungen. Der Bedarf nach einer hochdynamischen Verwaltung und Visualisierung von Geo- und Sachdaten erfordert ein Umdenken in der Modellierung von 3D-Gebäuden und deren Datenhaltung. Zur Darstellung komplexer energetischer Gebäudeinformationen wird ein Bauwerk weniger als ein großflächiges Objekt oder Festkörper, z.B. wie der bei Kolbe 2009 angeführten CityGML-Modelle betrachtet, als vielmehr eine Verbindung unterschiedlicher Zonen. Darüber hinaus sollen in dem Informationssystem nicht nur Forschungsergebnisse, sondern auch Grundlagendaten in einem für Immobilienunternehmen und Bauingenieure aussagekräftiges Format aufgearbeitet und in einem 3D-Modell visualisiert werden.

Das Projekt GEKIS (Bauklimatisches Informationssystem auf Basis von Google Earth) stellt sich dieser Herausforderung. Dabei sollen die entwickelten Gebäudemodelle für Google Earth optimiert und in ein Informationssystem eingebunden werden. Dieses System soll nicht nur als wissenschaftliches Analysewerkzeug dienen, sondern auch den Anforderungen der Immobilienwirtschaft gerecht werden. Zur Umsetzung dieses Systems wurde daher vom zuständigen Projektpartner, ein namhaftes Immobilienunternehmen aus dem Norden des Ruhrgebiets, als Untersuchungsgebiet eine ehemalige Bergarbeitersiedlung zur Verfügung gestellt.

Dieses Gebiet zeichnet sich durch eine einheitliche Baualtersklasse aus, deren einzelne Objekte eine hohe Heterogenität hinsichtlich ihres energetischen Sanierungsstandes aufweisen. So besitzen beispielsweise die verwendeten

---

<sup>1</sup> Corresponding Author.

Dämmmaterialien Unterschiede in Alter und Schichtendicke, um für das Informationssystem eine hinreichende Testgrundlage zu bilden.

Für dieses Informationssystem werden detaillierte Gebäudemodelle benötigt, die eine hohe Dynamik in ihrer Darstellung aufweisen. Da bisherige Ansätze eher für großflächige Stadtvisualisierungen prädestiniert sind, wurde für das GEKIS-Informationssystem ein alternativer Ansatz getestet.

## 1. Anforderungen an das System und Modellierungsansätze

In der Bauphysik werden Gebäudemodelle vorwiegend zur Berechnung des Energiebedarfes verwendet. Die dafür genutzten Modelle bestehen aus 2D-Darstellungen, welche als Visualisierungshilfe in den entsprechenden Programmen dienen. Einen Überblick über solch ein Faltmodell gibt Abb. 1

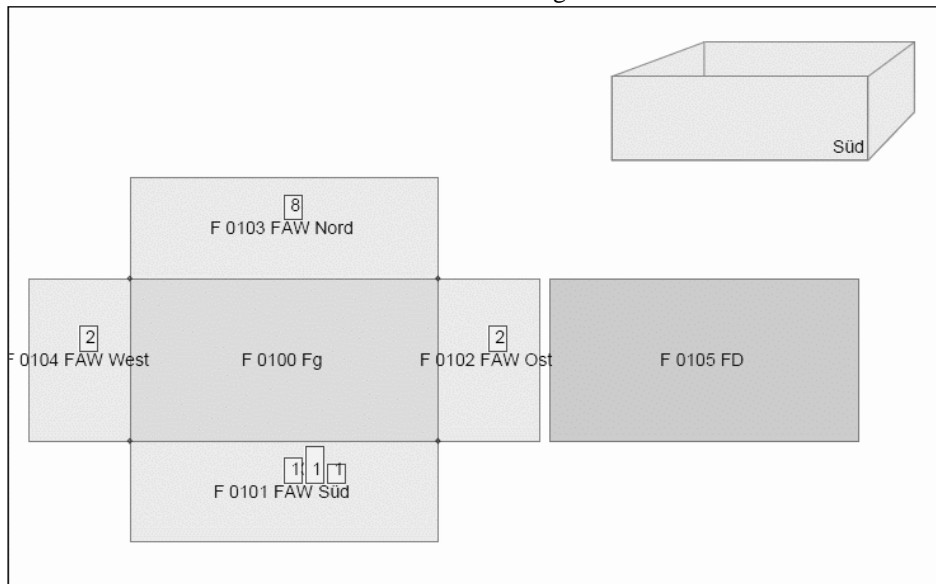


Abb. 1: Faltmodell aus der Bauphysik, verwendet für die Berechnung eines Energieausweises.

3D-Modelle kommen in der Bauphysik vereinzelt als Visualisierungsbasis in Form von CAD-Zeichnungen zum Einsatz. Die Verwendung einer dreidimensionalen Grundlage zur Darstellung von Informationen ist daher in diesem Fachgebiet ein neuer Ansatz in der Datenpräsentation. Innerhalb der Geoinformatik ist dieses Gebiet zwar weitestgehend erforscht, jedoch stellen die Erwartungen der Bauphysik an die Darstellung und Verwendung von Gebäudemodellen die Geoinformatik vor Herausforderungen.

Die erstellten Gebäudemodelle sollen nicht nur eine rein visuelle Betrachtungsweise unter Verwendung der EnEV (Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden) 2009-Kriterien bieten, sondern auch mit Berechnungsgrundlagen verbunden werden. Zudem sollen wahlweise die Attribute der ausgewählten Objekte veränderbar sein, bzw. deren Ansicht wahlweise an und ausgeschaltet werden. Diese Funktionen und Ansichtsveränderungen sollen anhand der Nutzereingaben und, so weit wie möglich,

unabhängig von den Vorgaben des Entwicklers geschehen. Dazu soll der Detaillierungsgrad der Gebäude hinreichend groß sein, um den Anforderungen der Immobilienwirtschaft zu entsprechen. Gleichzeitig soll die Ladezeit der Gebäude aber nicht wesentlich beeinträchtigt werden. Die farbliche Darstellung der Gebäude soll anhand bestimmter attributiver Merkmale geschehen. Die Verwaltung der Objekte und deren Attribute wird dabei innerhalb einer Geodatenbank vorgenommen werden. Veränderungen dieser Attribute innerhalb der Datenbank sollen sich direkt in der visuellen Darstellung der Objekte widerspiegeln.

Die für das Informationssystem gewählte Visualisierungsplattform Google Earth limitiert die Zahl der zu Verfügung stehenden Modellierungstechniken und die Möglichkeiten zur Einbindung der Daten. In der Orientierung an OGC-konforme Ansätze wurde so ein alternativer Ansatz der Modellierung erforscht.

### *1.1. OGC standardisierte Modellierungsmethoden*

Bisher für Google Earth verwendete Gebäudemodelle bestehen aus XML-basierten Auszeichnungssprachen. Zu diesen gehört die Keyhole Markup Language (KML) wie auch die auf semantischen Modellen beruhende CityGeography Markup Language (CityGML). Diese XML-Auszeichnungssprachen binden Modelle in Google Earth ein. Eine KML benutzt nach Google 2012 dafür entweder massive Objekte (z.B. Collada), extrudierte Flächen, oder Koordinatenstrings. Im Falle der CityGML kommt als Komponente die Verwendung eines semantischen, aus mehreren Klassen bestehenden Stadtmodells hinzu (Stadler et al. 2009). Sowohl CityGML als auch KML sind OGC standardisiert und bieten einen hohen Detaillierungsgrad in der Darstellung der eingebundenen Objekte (Salminen & Tompa 2011).

Beide Ansätze wurden bereits als Basis für ein Informationssystem verwendet und sind besonders für die effiziente und umfangreiche Darstellung von kompletten Stadtlandschaften geeignet. Eine differenzierte Darstellung einzelner Objekte sowie eine nutzerbasierte Darstellung einzelner Aspekte der massiven Gebäudemodelle oder extrudierten Flächen ist nur nach entsprechender Datenaufbearbeitung möglich. Ebenfalls enthalten die beschriebenen Modelle bereits vordefinierte Farb- oder Style-Informationen, deren Änderungen vorab vom Entwickler definiert werden müssen. Eine dynamische Änderung der Darstellung anhand bestimmter Attribute oder aufgrund der Veränderung der Attributwerte ist zwar möglich, bedeutet aber einen arbeitsintensiven Modellier- und Programmieraufwand, da die Komponenten und einzelne Ansichten bereits im Vorfeld definiert werden müssten.

### *1.2. Vektorbasierter Ansatz des GEKIS-Projektes*

Für die gewünschte dynamische und einer den Kriterien von Streich 2011 entsprechenden LOD von 4 bzw. 5 ist für die Darstellung der GEKIS-Modelle eine Unterteilung der jeweiligen Gebäude in mehrere Einzelteile vonnöten. Zeitgleich ist es notwendig, diese Einzelteile anhand eindeutig identifizierbarer Attribute mit Sachinformationen zu verknüpfen.

Um diese Kriterien zu erfüllen, erfolgte bei der Erstellung des Informationssystems eine Orientierung an bisher verbreiteten GIS-Systemen, wie ArcGIS oder QGIS, verbunden mit einer Abwendung von den massiven Stadtmodellen. Zu diesem Zweck wurde die Methode, Linien und Polygone als Koordinatenstrings in eine KML

einzubinden, für die Darstellung kompletter Gebäude optimiert. Die Modellierung innerhalb des GEKIS-Projektes nutzt demzufolge Vektordaten. Diese bestehen aus Polygonen, deren räumliche Anordnung den Flächen eines Gebäudes entspricht. Für die spätere Visualisierung dieser Daten in Google Earth sind die so entstandenen Gebäudeobjekte nicht von denen der mit herkömmlichen Methoden erstellten Modelle zu unterscheiden. Ersichtlich ist dies in der Abb. 2, welche vektorbasierte Gebäudemodelle im Kontext von Google Earth zeigt.



Abb. 2: Vektorbasierte Gebäudemodelle, . Ausschnitt aus einer Ansicht des GEKIS-Informationssystems.

## 2. Datenaufarbeitung der Modelle und bauphysikalischen Informationen

Für das Informationssystem verwendete Daten unterteilen sich in reine Geometrieobjekte in Form von Gebäuden sowie in bauphysikalischen Parametern.

Als Datenbasis für die Gebäudemodelle dienen neben Bauzeichnungen terrestrische und luftgestützte Laserscans. Anhand dieser Daten werden die Objekte unter Verwendung geschlossener Polylinien in AutoCAD modelliert. Durch den Export in ArcGIS wird jedes Polylinienobjekt als Polygon interpretiert, wodurch die einzelnen Polylinien den Anschein eines modellierten Objektes erhalten. Nach der notwendigen Georeferenzierung erhalten die Objekte eindeutig identifizierbare Attribute als späteres Verknüpfungsmerkmal in einer Datenbank. Zur Berechnung der bauphysikalischen Parameter und Analyse der energetischen Qualität eines Gebäudes werden die Konstruktions- und anlagentechnischen Daten der Gebäude als Basis für ein Energieprofil genommen. Dieses kann der Nutzer später auch selbst errechnen und sich innerhalb Google Earth anzeigen lassen. Darüber hinaus dienen im Gelände aufgenommene Thermographien zur Ermittlung von Wärmebrücken und als Basis zur Einschätzung der Gefahr von Flechtenbewuchs auf Wärmeverbundsystemen. Abb. 3

zeigt den für die Aufarbeitung der Daten notwendigen Arbeitsprozess, um sowohl bauphysikalische als auch geometrische Informationen zusammenzuführen.

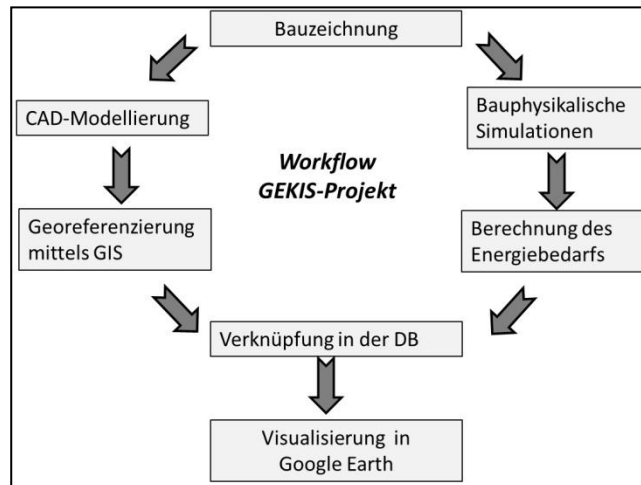


Abb. 3: Workflow innerhalb des Projektes zur Datenaufarbeitung und Zusammenführung in Google Earth

### 3. Datenverwaltung der Modelle und Systemarchitektur

Die Modellverwaltung erfolgt innerhalb einer PostgreSQL-Datenbank. Zur Einbindung der Modelle in Google Earth werden die Vektordaten als Koordinatenstring aus der Datenbank ausgelesen und innerhalb einer KML in das Plugin geladen. Die Speicherung des Objektes als eine Summe von mehreren Polygonen ermöglicht dessen Verknüpfung mit einer hohen Dichte an Sachinformationen, welche ebenfalls innerhalb der Datenbank verwaltet werden.

Dazu gehören beispielsweise, neben Daten über die Wärmedämmung der Aussenbauteile, Aussagen über zusätzliche bauphysikalische Parameter und die Anlagentechnik. Über die Adresse als Primärschlüssel erfolgt die Verknüpfung von Geometrien und Sachdaten. Darüber hinaus werden mit Hilfe des von PostgreSQL verwendeten Datentyp `ST_Geometry` geometrische Funktionen durchgeführt. So ist die Abfrage von Sachinformationen (z.B. Wohnungsgrößen) ebenso möglich, wie das flexible Ändern von Attributen. Durch Sanierungen veränderte Werte, beispielsweise eine neue Wärmedämmung oder eine neue Anlagentechnik, werden problemlos im System aufgenommen und visualisiert.

Das GEKIS-System besteht serverseitig aus dieser PostgreSQL-Datenbank, welche über eine Postgis-Erweiterung zu einer Geodatenbank erweitert wurde (Brinkhoff 2008). Zudem liegt ein Apache Server zum Betreiben der PHP-Skripte und der Datenbankabfragen vor. Die PHP-Skripte stellen die Schnittstelle zwischen der Datenbank und der Visualisierungsebene dar. Dabei wird innerhalb des PHP-Skriptes

die Datenbankausgabe in ein KML-Format umgewandelt und mit den entsprechenden Style-Informationen versehen. Die Ausgabe der Daten wird dadurch in ein für den Earth Browser lesbares Format umgewandelt.

Unter Verwendung einer von Google zur Verfügung gestellten JavaScript-API werden diese Daten an ein, in eine HTML Oberfläche integriertes, Google Earth Plugin übergeben. Das API bietet die Möglichkeit diesen vollfunktionsfähigen 3D-Viewer mit externen Funktionen zu verknüpfen. Diese Integration der Google-Earth-Software in eine Weboberfläche bietet dem GEKIS-Projekt daher eine geeignete Entwicklungsplattform. Neben dem Plugin als 3D-Viewer besitzt das GEKIS-System noch einen zweiten Viewer, welcher im 2D-Format zusätzliche Informationen bereithält. So zeigt dieser z.B. ein Baumkataster, dessen Daten im Zuge von mikroklimatischen Berechnungen verwendet werden. Abb. 4 gibt einen Überblick über die Systemarchitektur des GEKIS-Systems und zeigt die beteiligten Komponenten.

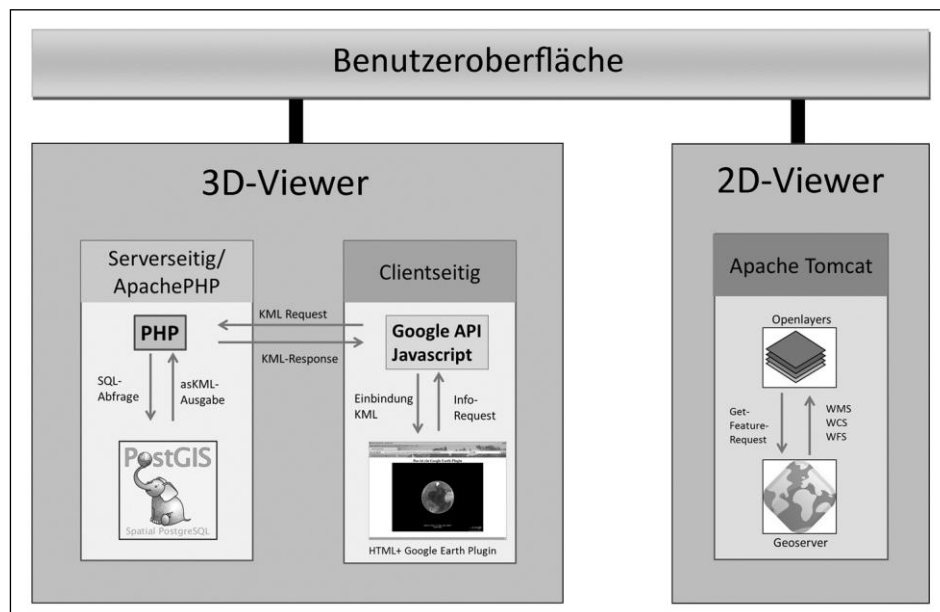


Abb. 4: Systemarchitektur des GEKIS-Informationssystems. Dieses ist unterteilt in einen 2D und einen 3D-Viewer. Die Verwaltung der Gebäudemodelle erfolgt innerhalb eines dem 3D-Viewer zugehörigen Earth Plugins.

#### 4. Funktionen des Informationssystems

Innerhalb des GEKIS-Systems unterteilen sich die Funktionen in die reine Visualisierung der Objekte, deren selektive Auswahl anhand bestimmter Attribute, sowie die Neuberechnung und Anlage von Datensätzen. Letztere Funktion kann dazu verwendet werden, wiederum die Visualisierung zu beeinflussen.

Die Visualisierungsfunktionen erlauben die farblich codierte Anzeige der Daten anhand bestimmter Klassifikationskriterien. In der Start-Einstellung werden die Gebäudemodelle farblich, ihren realen Vorbildern entsprechend, dargestellt. Die

Abfragefunktionalitäten erlauben es dem Nutzer Darstellungskriterien selbst zu beeinflussen und so unabhängig von den Vorgaben des Entwicklers Daten betrachten zu können. Ein Beispiel für diese Visualisierungsfunktion ist die Toolbox zur Darstellung der Dacheigenschaften. Neben Fakten wie Neigung und Exposition kann ebenso eine vorklassifizierte Darstellung des Solarpotenzials einzelner Dächer abgefragt werden.

Darüber hinaus bietet das GEKIS-System die Möglichkeit, den Datenbankbeständen Informationen zu dem jeweiligen Energieprofil der Gebäude hinzuzufügen und Berechnungen zur Erstellung des Energiebedarfs vornehmen zu können. Die Ergebnisse dieser Berechnungen werden direkt in die Datenbank geschrieben und können sofort im System visualisiert werden. Des Weiteren erlauben Manipulationen der Datenbestände Berechnungen zur Veranschaulichung sanierungsbedingter Veränderungen des Energieprofils.

## **5. Kritische Bewertung des Modellieransatzes**

Neben der rein grafischen Darstellung hat das GEKIS-Informationssystem aufgrund der Art seiner Datenhaltung den Vorteil, dynamisch Attribute von Gebäudeobjekten anhand von Farbcodierungen zu visualisieren. Zusätzlich kann sich der Benutzer weitestgehend unabhängig von Entwicklervorgaben bestimmte Eigenschaften der einzelnen Objekte anzeigen lassen. Auch können die Auswirkungen von geplanten Sanierungs- und Baumaßnahmen direkt vom System berechnet und visualisiert werden. Dadurch werden nicht nur die reinen 3D-Daten angezeigt, sondern diese verändern sich dynamisch. Zuvor klassifizierte Einstellungen, wie die nach Solarpotenzial, können bei geänderter Gesetzeslage und neuen technischen Möglichkeiten diesen angepasst werden. Notwendig ist nur eine geringe Manipulation der programmiertechnischen Parameter. Das System erhält durch diese Tatsache zudem eine gewisse Resilienz bezüglich künftiger sanierungstechnischer Entwicklungen. Auf Texturierung wird zudem, abgesehen von der Darstellung von Thermographien, vollständig verzichtet. Dadurch hat das System trotz hoher Datenkomplexität in der Geometrie eine wesentlich schnellere Ladezeit im Vergleich zu texturierten Modellen.

Die Verwendung von Google Earth als Darstellungsplattform bedeutet für das System eine schnellere Ladezeit und höhere Systemstabilität, aber auch, dass es bei dieser proprietäre Software wenige Informationen über die im Hintergrund ablaufende Prozesse gibt. Abzuwarten wäre daher die Entwicklung eines vergleichbaren Open-Source-Plugins und dessen Vor- oder Nachteile für das verwendete System.

Ebenfalls ist zu berücksichtigen, dass dieser Ansatz sich hervorragend für die Darstellung einzelner Gebäudeobjekte oder einzelner Stadtteile, aber weniger für einen großräumigen Ansatz eignet. Für größere Gebiete, bei denen eine geringere Dynamik in der Darstellung erforderlich ist, haben sich bis jetzt eher Collada- oder CityGML-Modelle bewährt.

## **6. Zusammenfassung und Fazit**

Das GEKIS-Informationssystem verbindet Forschungsergebnisse aus dem Bereich der Geoinformatik mit denen des Bauingenieurwesens. Zum Erreichen dieses Ziels

waren Kompromisse in der Art der Datenhaltung und eine Alternativfindung für die Gebäudemodellierung notwendig. Die bisherigen Modellierungsansätze unter Verwendung extrudierter oder massiver Gebäudeobjekte bieten zu wenig Spielraum für eine dynamische Darstellung umfangreicher Informationen. Alternativ wurde daher die Verwendung rein vektorbasierter Modelle getestet. Die Abwendung von in der 3D-Modellierung etablierten Methoden, wie die Verwendung massiver Modelle, hin zu einer vektorbasierten Darstellung bedeutete zwar umfangreiche Datenaufarbeitungsschritte, lieferte aber zugleich wesentliche Vorteile: so ist das GEKIS-System optional für die Darstellung und Anwendung von Analysefunktionen bei einzelnen Gebäuden oder kleineren Stadtteilen. Die Abfrage von Attributen anhand nutzerbasierter Kriterien sowie die Klassifikation derselben wurde wesentlich erleichtert. Sanierungsmaßnahmen sowie bauliche Maßnahmen können direkt an die Datenbank übertragen und sofort in der Visualisierungsebene dargestellt werden. Möglich ist zudem die Analyse zukünftiger sanierungsbedingter Veränderungen der Konstruktionsparameter auf das Energieprofil. Die Potentiale dieses Modellieransatz beschränken die Gebäudedarstellung nicht mehr nur auf die einfache Präsentation eines Objektes, sondern erlauben auch Parameter und deren Veränderungen dynamisch darzustellen und komplizierte Berechnungsergebnisse visuell aufzubereiten.

## Literatur

BRINKHOFF, T., *Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis*, Oldenburg, 2008.

ENEV, *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden*. Energieeinsparverordnung für Gebäude, nichtamtliche Fassung. 2009. Quelle: [http://www.enev-online.org/enev\\_2009\\_volltext/index.htm](http://www.enev-online.org/enev_2009_volltext/index.htm) (letzter Zugriff 19.01.2012).

Google, *KML Reference*, 2012, Quelle: <http://code.google.com/intl/de-DE/apis/kml/documentation/kmlreference.html> (letzter Zugriff 19.01.2012).

KOLBE, T., NAGEL, T. & A. STADLER, CityGML – OGC Standard for Photogrammetry? *Photogrammetric Week* (2009), 265-277.

LUEBKE, D., REDDY, M., COHEN, J.D., VARSHNEY, A., WATSON, B. & R.HUEBNER: *Level of Detail for 3D Graphics*, San Francisco, 2003.

OBE, R. O. & HSU, L. S., *PostGis in Action*, Greenwich, 2011.

SALMINEN, A. & TOMPA, F., *Communicating with XML*, London, 2011.

STADLER, A., NAGEL, C., KÖNIG, G. & T. KOLBE, Making Interoperability Persistent: A 3D Geo Database Based on CityGML. In: LEE, J. & S. ZLATANOVA (Hrsg.), *3D GeoInformation Science*, Heidelberg, 2009.

STREICH, B., *Stadtplanung in der Wissensgesellschaft*. Wiesbaden, 2011.

WIESNER, W., Energetische Grundlagen solaren Bauens. In: EVERDING, D. (Hrsg.), *Solarer Städtebau. Vom Pilotprojekt zum planerischen Leitbild*, Stuttgart S. 101-124, 2007.