

CityGML 2.0 – Ein internationaler Standard für 3D-Stadtmodelle Teil 2: CityGML in der Praxis*

Marc-O. Löwner, Egbert Casper, Thomas Becker, Joachim Benner, Gerhard Gröger,
Ulrich Gruber, Karl-Heinz Häfele, Robert Kaden und Sandra Schlüter

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag widmet sich dem Einfluss und der Anwendbarkeit der City Geography Markup Language (CityGML), einem im März 2012 in der Version 2.0 vom Open Geospatial Consortium veröffentlichten, internationalen Standard zur Repräsentation virtueller 3D-Stadtmodelle. Zunächst wird die gegenseitige positive Beeinflussung von CityGML und anderen im 3D-Stadtmodellbereich relevanten Datenformaten, wie dem AAA®-Datenmodell der öffentlichen Landesvermessung, den im Rahmen der Europäischen Richtlinie INSPIRE entwickelten Datenmodellen sowie der Keyhole Markup Language (KML) beleuchtet. Danach wird das Qualitätskonzept der SIG3D erörtert, das neben Konformitätsregeln auch Hinweise zur korrekten Modellierung von CityGML-Entitäten gibt. Im Weiteren werden positive Beispiele aus laufenden und abgeschlossenen Praxisprojekten vorgestellt, die die Umwelt- und Energieplanung, die Lärmsimulation, das Katastrophenmanagement sowie die Stadtplanung umfassen.

Summary

This paper is devoted to the influence of the applicability of City Geography Markup Language (CityGML) 2.0, released by the Open Geospatial Consortium in March 2012. CityGML is a common information model for the representation, storage and exchange of virtual 3D city models. At first, the mutual positive influence of CityGML to other data formats like AAA®, INSPIRE and the Keyhole Markup Language (KML) are considered. Afterwards, the SIG3D's concept of quality providing rules of conformity and modelling approaches of CityGML entities is lit. Furthermore, completed or on-going practical examples are given. These are covering environmental and energy planning, noise simulation, catastrophe management and city planning.

Schlüsselwörter: CityGML 2.0, 3D-Stadtmodelle, Konformitätsregeln, AAA®, INSPIRE, Praxisbeispiele

* Der erste Teil dieses Beitrags »CityGML 2.0 – Ein internationaler Standard für 3D-Stadtmodelle. Teil 1: Datenmodell« ist in der zfv 6/2012, 137. Jg., S. 340–349, erschienen.

1 Einleitung

3D-Stadtmodelle nehmen heute einen wichtigen Platz in der Forschung, Softwareentwicklung und den öffentlichen und privaten Geobasisdatenanbietern ein. Ein zentrales Datenformat zur Repräsentation semantischer virtueller 3D-Stadtmodelle ist die City Geography Markup Language (CityGML), die im März 2012 vom Open Geospatial Consortium (OGC) in der Version 2.0 als internationaler Standard veröffentlicht worden ist (Gröger et al. 2012). Neben der geometrischen Repräsentation der 3D-Elemente einer Stadt auf Basis der Geography Markup Language (GML 3.1.1) (Cox et al. 2004) werden auch semantische Eigenschaften der Objekte sowie deren Relationen zueinander repräsentiert. CityGML ist damit weit mehr als ein Standard zur reinen Visualisierung von 3D-Stadtmodellen. Es ermöglicht dem Anwender vielmehr, anspruchsvolle Analyseschritte für eine Vielzahl von Praxisproblemen durchzuführen. Darüber hinaus ist CityGML durch Modularisierung und verschiedene Detailierungsstufen, den Level of Detail (LoD), stark skaliert.

CityGML steht schon seit der Veröffentlichung als OGC Best Practice Paper (Gröger et al. 2007) im Praxistest. Die Entscheidung des Anwenders für ein Datenformat beinhaltet zuerst Fragen nach der Güte, der Akzeptanz und der Erweiterbarkeit des Schemas. Zunächst muss das Datenformat den betrachteten Sachverhalt sowohl geometrisch als auch semantisch korrekt repräsentieren. Des Weiteren sollte das Datenformat möglichst weit akzeptiert sein, damit ein Austausch mit anderen Beteiligten möglich ist. Eine Standardisierung durch das OGC kann hierfür als Garant angesehen werden. Da der zu modellierende Ausschnitt der realen Welt immer von der Aufgabenstellung abhängt, sollte das Datenmodell eine Anpassung an das jeweilige Projekt zulassen, ohne seine Austauschfähigkeit dabei zu verlieren. Hierfür bieten sich eine standardisierte Einschränkung des Schemas durch Profile sowie Erweiterungsmechanismen an, die in CityGML durch eine Application Domain Extension (ADE) realisiert werden können.

Inhalt dieser Veröffentlichung sind die Eigenschaften, die einen Anwender dazu bewegen können, sich für CityGML zu entscheiden. Dies ist zum einen das Verhältnis des Datenformats zu schon bestehenden oder sich in der Entwicklung befindlichen Datenmodellen. In einer Anwendung sind oftmals mehrere Datenquellen zu vereinen. Ein gewisser Deckungsgrad des Ziel- oder Analyseschemas mit denen der Geobasisdatenanbieter ist daher von großer Wichtigkeit. Im zweiten Kapitel wird das Verhältnis von CityGML zu anderen im 3D-Stadtmodellbereich relevanten Datenformaten bzw. Datenmodellen beleuchtet. Hierbei werden die Überschneidungen und Austauschmöglichkeiten von CityGML mit dem AAA®-Datenmodell der öffentlichen Landesvermessung (Kap. 2.1) beleuchtet und durch einen Vergleich mit dem INSPIRE-Datenmodell für Gebäude ergänzt (Kap. 2.2). Abschließend wird ein

Vergleich mit dem wohl bekanntesten Modell zur Visualisierung von 3D-Stadtmodellen, der Keyhole Markup Language (KML), angestellt (Kap. 2.3).

Ein Datenmodell mündet in der Praxis immer in Instanzmodelle, wobei das Datenmodell selbst und eventuell flankierende Konformitätsregeln eine valide Umsetzung unterstützen sollten. Kap. 3 widmet sich dieser Qualitäts sicherung von CityGML-Modellen, wobei sowohl auf die Konformitätsregeln (Kap. 3.1), als auch auf Hinweise zur korrekten Modellierung von CityGML Entitäten (Kap. 3.2) eingegangen wird. Prüfverfahren werden in Kap. 3.3 angerissen.

Das beste Argument für die Verwendung eines Datenformates sind positive Beispiele aus der Praxis. Das vierte Kapitel widmet sich abgeschlossenen und laufenden Projekten, deren Dateninfrastruktur auf CityGML basiert oder in denen CityGML eine entscheidende Rolle spielt. Als Beispiele werden Projekte aus der Umwelt und Energieplanung (Kap. 4.1), der Lärmsimulation (Kap. 4.2), dem Katastrophenmanagement (Kap. 4.3) sowie der Stadtplanung (Kap. 4.4) vorgestellt.

Dies ist der zweite Beitrag zur Neuauflage von CityGML der Version 2.0, der in dieser Zeitschrift erscheint. Der erste Beitrag (Löwner et al. 2012) befasste sich mit den Änderungen im Datenmodell im Vergleich zu älteren Versionen und sei zum besseren Verständnis dieses Beitrages zur Lektüre empfohlen.

2 Verhältnis von CityGML zum AAA®-Datenmodell, INSPIRE und KML

CityGML als international standardisiertes Informationsmodell für 3D-Gebäude- und Stadtmodelle ist seit seiner Entstehung nicht isoliert von bestehenden, nationalen und internationalen Geobasis- und Geofachdatenstandards entwickelt worden. Im Gegenzug hat bereits die Veröffentlichung von CityGML der Version 0.4.0 im Jahr 2007 (Gröger et al. 2007) die Entwicklung anderer Standards beeinflusst. Hier soll insbesondere die gegenseitige Beeinflussung von CityGML und der AAA®-Modellierung sowie der des Gebäudemodells von INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community) betrachtet werden. Darüber hinaus wird das Verhältnis von CityGML mit der Keyhole Markup Language (KML) diskutiert. Dabei wird auch die zeitliche Entwicklung der Schemata betrachtet.

Die wichtigste syntaktische Gemeinsamkeit zwischen CityGML, dem AAA®-Konzept und INSPIRE ist die Geography Markup Language (GML), die diesen Modellen zugrunde liegt, allerdings in unterschiedlichen Versionen. Während CityGML der Version 2.0 auf GML 3.1.1 basiert, fußen das AAA®- und das INSPIRE-Modell auf GML der Version 3.2. Darüber hinaus existieren für die drei Anwendungsschemata auch unterschiedliche Gültigkeitsbereiche. Sowohl bei GML als auch bei CityGML

handelt es sich um internationale Standards. Der räumliche Geltungsbereich von INSPIRE erstreckt sich auf die Europäische Union, während das AAA®-Modell und die AdV-CityGML-Profile (vgl. Gruber 2012) als nationale Standards für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland zu sehen sind.

Die semantischen Unterschiede und Überschneidungen von CityGML mit dem AAA®(2D)-Datenmodell, dem

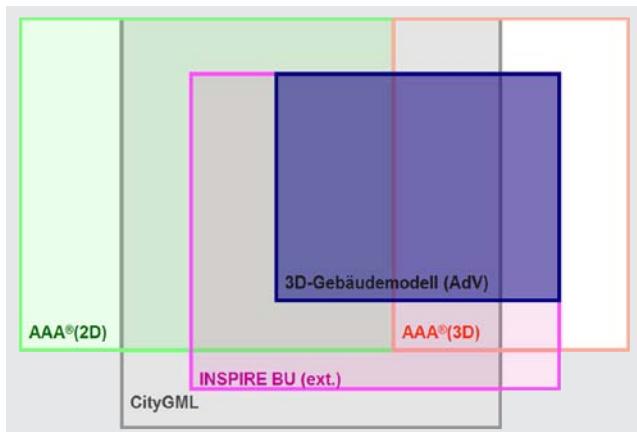


Abb. 1: Schnittmengengröße der 3D-relevanten Datenmodelle im amtlichen Vermessungswesen

AAA®(3D)-Datenmodell, dem 3D-Gebäudemodell der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) sowie des Gebäudemodells von INSPIRE sind in Abb. 1 schematisch dargestellt. Bei der nachfolgenden Betrachtung der Unterschiede und Überschneidungen sollen u.a. die Erfordernisse, die diese Schnittmengen begründen, dargestellt werden.

2.1 CityGML, AAA® und die Erweiterung der bestehenden AAA®-Modellierung um 3D-relevante Objektarten

Mitte der 90er Jahre begann die AdV mit der Entwicklung des AAA®-Datenmodells (AFIS® – Amtliches Festpunktinformationssystem, ALKIS® – Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem und ATKIS® – Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem). Dieses AAA®-Anwendungsschema besteht aus einem Basischema, das die grundlegenden, gemeinsamen Objektarten und Relationen zur Modellierung der Geobasisdaten enthält, sowie einem Fachschema. Diese Zusammenstellung grundlegender Objektarten und Relationen wurde auch in CityGML nachvollzogen und ist seit der Version 1.0 im Namensraum *core* realisiert.

2002 begann die SIG 3D der GDI NRW mit der Entwicklung von CityGML. Dabei blieb das damalige AAA®-Datenmodell nicht unberücksichtigt. So wurde etwa die Modellierung eines Lebenszeitintervalls, ein typisiertes Attribut von *AA_Objekt* im AAA®-Basischema auch in CityGML modelliert, das in beiden Modellen den Auf-

oder Untergang eines Fachobjektes in der Datenhaltung kennzeichnet. Auch wird in beiden Modellen die Funktion der Fachobjekte attributiv repräsentiert. Im ALKIS®-Fachschemata sind Attribute wie *gebaeude-* oder *bauwerksfunktion* enthalten, welche sich im CityGML-Attribut *function*, das in 26 semantischen CityGML-Klassen der Version 2.0 vorkommt, widerspiegeln. Bei der Erstellung der CityGML-codelists, welche mögliche Werte zur Belegung dieser Attribute enthalten, aber nicht zum normativen Teil der Spezifikation gehören, wurden teilweise die *Enumerations* des AAA®-Datenmodells zugrunde gelegt.

Deutliche Unterschiede zwischen CityGML und dem AAA®-Datenmodell gibt es in der Darstellung der Geometrie, durch die ein Fachobjekt repräsentiert wird. Jedes AAA®-Fachobjekt kann im Gegensatz zu den fünf Level of Detail (LoD) des CityGML-Building-Moduls durch maximal eine Geometrie repräsentiert werden. Lediglich durch die Verwendung des *AA_ZUSO* können einem Fachobjekt (z.B. dem *AX_Grenzpunkt*) mehrere Geometrien, hier in Form von *AX_Punktort*, über die Relation *bestehtAus* bzw. *istTeilVon* zugeordnet werden.

2007 erfolgte die Erweiterung des AAA®-Datenmodells um 3D-relevante Objektarten. Hierbei wurden sowohl die bestehende AFIS®-, ALKIS®- und ATKIS®-Modellierungen als auch das CityGML Best Practice Paper der Version 0.4.0 berücksichtigt. Dieses Vorgehen sicherte die Realisierbarkeit der Schematransformation bestehender 2D-Datenbestände in das 3D-Modell und die mögliche Überführung bestehender CityGML-Stadtmodelle in ein AAA®-konformes Datenmodell. Ziel war es, neben der angestrebten Flächendeckung der 3D-Nachweise auch die Nutzung der Fortführungsinformationen der amtlichen Daten aus dem Liegenschaftskataster zu gewährleisten (vgl. AG Fortführung 2007). Der AAA®-interne Austausch der Fortführungsinformationen erfolgt auch für die 3D-Objekte mittels der Normbasierten Austauschschnittstelle (NAS), beispielsweise zwischen Katasteramt und regionalen bzw. überregionalen Geodatenzentren, in Form der nutzerbezogenen Bestandsdatenaktualisierung (NBA). Rahmentechnologie für diesen Transaktionsmechanismus ist der Web Feature Service (WFS) (Vretanos 2010), mit dem auch CityGML-Modelle ausgetauscht werden können. Für das AAA®-Datenmodell wurde dieser OGC-Standard in ein Fortführungskonzept eingebettet, das zukünftig auch auf die Fortführung der 3D-Objekte angewendet wird. Dies stellt die Hauptmotivation für die Ergänzung der bestehenden AAA®-Modellierung um 3D-relevante Objektarten dar, da nur so eine wirtschaftliche Führung bzw. Fortführung der 3D-Geobasisdaten möglich ist.

Aus CityGML wurde bei der AAA®-Erweiterung das LoD-Konzept für Fachobjekte übernommen. Jedes Fachobjekt muss also auch im ALKIS®-3D durch das typisierte Attribut *AA_Modellart* die Information tragen, welchem LoD es zugehörig ist. Dies wird innerhalb von *AA_Objekt* definiert, das an der Spitze der Vererbungshierarchie

des AAA®-Datenmodells steht. Dazu wird die bestehende Enumeration der zu verwendenden Werte um die LoD-Angaben ergänzt.

Einen besonders starken Einfluss auf die Entwicklung des AAA®(3D)-Datenmodells hat die Repräsentation von Gebäuden in CityGML. Hier kann ein *Building* entweder aus einem oder mehreren *BuildingParts* bestehen, wobei das klammernde *Building* wahlweise mit oder ohne Geometrie vorkommen kann. Im zweiten Fall hängt die Geometrie dann am *BuildingPart*. Dies hat weitreichende Folgen bei der Erweiterung des AAA®-Datenmodells. Die Vorgabe, dass etwa *AX_Bauteile* von der Gebäudegeometrie umschlossen sein müssen, kann aufgrund des LoD-Konzeptes für die 3D-Fachobjekte nicht zwingend vorgeschrieben werden (Gruber 2012). In einer zukünftigen Version der GeoInfoDok werden diese Zusicherungen angepasst.

Einige Bundesländer, wie beispielsweise Rheinland-Pfalz, wollten bereits vor der bundesweiten Realisierung der 3D-Datenhaltung im AAA®-Umfeld mit dem Aufbau eines 3D-Datenbestands auf der Grundlage des amtlichen Geobasisdatenbestands, insbesondere ALK und ALKIS® sowie Airborne-Laserscandaten, beginnen. Als Übergangslösung hat die AdV hierfür zwei CityGML-Profile für Gebäudemodelle im LoD1 und LoD2 erstellt. Dabei sind Klassen, Attribute und Werte auf den Umfang der Produktdefinition reduziert und abweichende Kardinalitäten festgelegt worden (Gerschwitz et al. 2011). Diese Profile sind funktionelle Einschränkung des CityGML-Schemas, um den Umfang des CityGML auf die im Liegenschaftskataster zu repräsentierenden Informationen zu reduzieren. Unter Verwendung der generischen CityGML-Attribute wurden allerdings verbindliche Festlegungen für die Qualitätsangaben getroffen.

Die Integration der 3D-relevanten Objektarten in das AAA®-Datenmodell führt dazu, dass 3D-Stadtmodelle von amtlicher Seite aufgebaut und aktuell gehalten werden können. Durch die Berücksichtigung der CityGML-Modellierung bei der Erweiterung des AAA®-Datenmodells und die Implementierung weiterer internationaler Standards, wie des WFS ist es nun möglich, 3D-Geobasisdaten aus dem Liegenschaftskataster und den damit eng verbundenen Fachdisziplinen im CityGML-Datenformat abzugeben.

2.2 Das Gebäudemodell von INSPIRE

Das Gebäudemodell, das in der Richtlinie INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community) entwickelt wird, wurde stark vom CityGML-Gebäudemodell der Version 2.0 beeinflusst. Viele Modellierungsmuster und Attribute wurden in die Datenspezifikation von INSPIRE in der aktuellen Version 3.0rc2 (INSPIRE Thematic Working Group on Buildings 2012) übernommen, etwa die Aggregation von *BuildingParts* zu einem *Building*. Diese Aggregation ist jedoch in INSPIRE

einstufig: Ein *BuildingPart* selbst kann keine *BuildingParts* haben. Im CityGML-Gebäudemodell ist dies dagegen möglich. Beispiele für ähnliche Attribute in beiden Modellen sind die Externe Referenz, die Anzahl der Stockwerke und die Nutzung eines Gebäudes.

Das Gebäudemodell von INSPIRE in der aktuellen Version 3.0rc2 ist modular in vier Profile aufgeteilt, die in der heterogenen Datenverfügbarkeit und Anwendungen für Gebäudemodelle in der EU begründet sind:

- Profil *core2D*: 2D/2,5D: Dieses Profil ist normativ, d. h. es erlangt Gesetzeskraft. Die 2,5D-Repräsentation entspricht dem CityGML-LoD0, ist aber wesentlich allgemeiner. Während CityGML hier nur horizontale Polygone vorsieht, bietet INSPIRE durch das Zulassen nicht vertikaler Polygone ein allgemeineres Modell. So kann etwa eine um 45° geneigte INSPIRE-Fläche nicht in CityGML LoD0 dargestellt werden
- Profil *core3D*: Erweiterung von *core2D* um eine geometrische Repräsentation der Gebäudehülle von CityGML (LoD1–LoD4). Diese Geometrien werden durch Metadaten über die geometrische Genauigkeit und explizite Informationen über Modellabstraktionen ergänzt, die insbesondere die größeren Detailstufen LoD1 und LoD2 betreffen. Im LoD1 kann in INSPIRE etwa explizit angegeben werden, auf welchen Höhenreferenzpunkt des realen Gebäudes sich die Höhe des Extrusionskörpers, der ein Gebäude geometrisch repräsentiert, bezieht (z. B. höchster Punkt, höchster Punkt des Dachs ohne Aufbauten, mittlere Dachhöhe, untere Traufkante). Analog ist für die Unterkante einer Gebäuderepräsentation, ein weiteres Attribut vorgesehen. Die Herkunft der 2D-Geometrie, die einem Extrusionskörper im LoD1 und im LoD2 zugrunde liegt, kann in INSPIRE einem Attribut mit den Werten »Bodenhöhe«, »Dachausdehnung« und »größte oberirdische Ausdehnung« entnommen werden. Analog kann das Attribut für die relative Gebäudehöhe durch Angabe der oberen und unteren Bezugspunkte näher spezifiziert werden.
- Profil *extended2D*: Semantische Erweiterung von *core2D* um Daten aus dem Bereich des Liegenschaftskatasters sowie um umwelt- und energierelevante Angaben, wie Materialeigenschaften, die Einbindung in Ver- und Entsorgungsnetze sowie Informationen zu Energieeffizienz oder dem Heizungssystem.
- Profil *extended3D*: Im Wesentlichen eine Erweiterung des CityGML-Gebäudemoduls durch die Semantik des *extended2D*-Profils. Ergänzend zu CityGML sind Wand- und Dachflächen um Materialeigenschaften erweitert. Auch sind Bauwerke, wie Kühltürme oder freistehende Antennen repräsentierbar. Während Räume in CityGML direkt dem Gebäude oder Gebäudeteil zugeordnet sind, kann in INSPIRE zusätzlich eine *BuildingUnit* als in der Regel rechtlich definierte Einheit des Gebäudeinneren als Aggregation von Räumen modelliert werden. Das Texturmodell von INSPIRE ist hingegen eine vereinfachte Version des Appearance-

Moduls von CityGML, bei der georeferenzierte Texturen und deren Gruppierung nach Themen nicht möglich sind.

Zum Austausch von Datensätzen des INSPIRE-Gebäudemodells sind GML-Anwendungsschemata für alle vier Profile vorgesehen. Darüber hinaus ist für die 3D-Profile *core3D* und *extended3D* auch die Repräsentation durch CityGML-ADEs vorgesehen. Diese werden in der nächsten, für das erste Quartal 2013 geplanten Version des INSPIRE-Gebäudemodells eingeführt.

CityGML hat die Entwicklung des INSPIRE-Gebäudemodells maßgeblich beeinflusst. Umgekehrt ist auch eine Einflussnahme von INSPIRE auf zukünftige Versionen von CityGML abzusehen. Von INSPIRE übernommen werden kann bspw. die Modellierung von Bauwerken, die keine Gebäude sind. Für den Spezialfall der Industrieanlagen und Produktionsstätten sind ergänzend semantische Aspekte von dem zum Gebäudemodell parallelen INSPIRE-Modell für Produktions- und Industrieanlagen relevant. Weitere INSPIRE-Modellierungskonzepte, deren Adaption sich für CityGML anbietet, betreffen explizite Informationen über Modellabstraktionen in den Detailstufen LoD1 und LoD2, wie etwa die unteren oder oberen Höhenreferenzpunkte. Dieses Konzept kann zukünftig auch die Aussagekraft des *measuredHeight*-Attributs von CityGML signifikant verbessern.

2.3 KML

Die Publikation von 3D-Stadtmodellen im Internet ist durch die Keyhole Markup Language (KML) sprunghaft angestiegen. KML wurde von der Firma Keyhole Corp., ab 2004 von Google Inc. eigenständig entwickelt und im Mai 2007 als Best Practice Paper in das Open Geospatial Consortium eingebbracht (Reed 2007). Im April 2008 wurde es zum OGC-Standard erhoben (Wilson 2008). Hauptziel dieser Entwicklung war die Visualisierung und Annotation grafischer Daten für Online-Karten und digitale Globen wie Google Earth. Die Frage, ob ein 3D-Stadtmodell in CityGML oder in KML zu erstellen ist, ergibt sich aus den Anforderungen an dieses Modell, die die beiden Standards in einer komplementären, ergänzenden Weise erfüllen können (vgl. Kolbe 2008).

Im Gegensatz zu CityGML und den in Kap. 2.1 und Kap. 2.2 diskutierten Datenmodellen des AAA®-Schemas und INSPIRE basiert KML lediglich auf der Extensible Markup Language (XML). Allerdings gibt es in der Repräsentation der Geometrie Analogien zwischen KML und GML. Koordinaten jedoch können in KML nur als geografische Koordinaten des WGS84 Ellipsoid angegeben werden. CityGML ist hier wesentlich flexibler, indem jedem Geometrieobjekt sein eigenes (3D)-Koordinatenreferenzsystem zugewiesen werden kann.

Der gravierendste Unterschied zwischen KML und CityGML liegt in der Repräsentation semantischer Infor-

mationen. CityGML differenziert die Objekte der realen Welt als Spezialisierungen abstrakter GML-Features in 98 Klassen mit insgesamt 372 wohldefinierten Attributen. Diese Features sind sowohl semantisch klassifizierte Geometrien als auch nicht geometrische Klassen. Auch KML definiert Features, die aber keinesfalls mit GML-Features zu verwechseln sind, sondern grafische Prototypen (wie *placemark icons*, *descriptor balloons*) oder aber Textboxen bezeichnen. Diese KML-Features können durch Elemente wie bspw. *name*, *author*, *address*, *xal:AddressDetails* oder *phoneNumber* näher spezifiziert werden. Darüber hinaus gibt es die offenen Textwerte *snippet* und *description*. Die Attribute eines KML-Features schränken eine semantische Differenzierung realer Objekte also stark ein.

Eine Möglichkeit ein KML-Feature genauer zu beschreiben, bietet das Element *ExtendedData* in das nichttypisierte Namen-Wertpaare eingetragen werden können. Es ist beim Einlesen einer KML-Datei also nicht geklärt, was für Attribute sich in dem *ExtendedData*-Element befinden. Ebenfalls kann ein *ExtendedData*-Element nur auf Wohlgeformtheit, also syntaktische Korrektheit geprüft werden, nicht aber auf Validität gegen ein Schema, da dieses für *ExtendedData* nicht existiert. Mit KML ist es also nicht möglich, standardisiert eine semantisch basierte Abfrage auf ein Stadtmodell zu fahren, die etwa alle öffentlichen Gebäude extrahiert, wie dies mit dem CityGML-Attribut *usage* möglich ist.

Trotz dieser Schwächen spielt KML bei der Visualisierung virtueller Städte eine überragende Rolle. Durch die Möglichkeit COLLADA-Dateien einzubinden, ist KML in der Lage, auch fotorealistische Gebäudemodelle zu repräsentieren. Zudem eröffnet COLLADA den Zugang zu vielen 3D-Softwaretools, die neben dem eigentlichen KML-Werkzeug SketchUp zur Erzeugung von 3D-Modellen herangezogen werden können, wie etwa AutoCAD, die Esri City Engine oder Blender (Collada 2012). In Bezug auf die Visualisierung von CityGML stellt Kolbe (2008) sowie das OGC selbst (Schilling et al. 2012) eine Prozesskette vor, die zunächst über einen WFS eine Auswahl der Objekte erlaubt. Danach werden diese Elemente im Web 3D Service (W3DS) (Schilling und Kolbe 2010) für die Darstellung in einem virtuellen Globus aufbereitet. Die Semantik der ursprünglichen CityGML-Daten geht dabei natürlich verloren, könnte aber über eine im KML-Feature eingefügte URL referenziert werden.

3 Qualitätssicherung von CityGML-Modellen – Das Qualitätskonzept der SIG3D

Der Satz »Quality is conformance to requirements« (engl.: Qualität ist die Erfüllung von Anforderungen) von Philip B. Crosby (1979) birgt die gesamte Komplexität und Herausforderung eines Projekts. Wenn die Anforderungen eines Projekts hinreichend genau formuliert und spezifiziert werden können, kann die Erfüllung dieser

Anforderungen mit Hilfe von entsprechenden Werkzeugen ermittelt werden. Qualität wird durch tatsächliche Abweichungen von den Anforderungen »messbar« und die erbrachte Leistung damit werthaltig. In der Realität kann aber in vielen Fällen eine ideale Qualität nicht erreicht werden. Insbesondere der Aufbau, Betrieb und die Fortführung von 3D-Stadt- und Landschaftsmodellen ist aufwendig. Der Erfolg von Anwendungsprojekten auf der Grundlage von 3D-Modellen ist daher wesentlich von qualitätsgesicherten Prozessen abhängig. Unklare und insbesondere unscharfe Anforderungen verhindern dabei eine automatisierbare Qualitätssicherung.

Das Qualitätskonzept der SIG3D dient der Investitionssicherung und ist Bestandteil einer erfolgreichen Projektdurchführung. Es ist modular angelegt, wobei die einzelnen Bestandteile aufeinander aufbauen. Insgesamt umfasst es mehrere Module, die die Bereiche der Anforderungen, deren Erfüllung und deren Umsetzung abdecken:

■ Allgemeines

Mit diesem Modul werden wichtige Grundlagen für das Verständnis und die Umsetzung des Standards CityGML gelegt. Es umfasst eine Sammlung von Begriffsdefinitionen, die sukzessive erweitert wird, Erläuterungen von Syntax und Semantik des Datenmodells (noch nicht realisiert), eine Zusammenstellung von Konformitätsbedingungen (s. Kap. 3.1) sowie verschiedene Beispieldatensätze.

■ Modellierung

Modellierungsrichtlinien werden in Form von internet-gestützten Modellierungshandbüchern über die Homepage der SIG3D (SIG3D 2012a) veröffentlicht. Aktuell gibt es zwei derartige Dokumente: die Beschreibung der Regeln für valide GML Geometrie-Elemente in CityGML (s. Kap. 3.2.1) sowie die bisher noch unvollständigen Hinweise und Richtlinien zur Modellierung von Gebäuden in LoD1 bis LoD3 (s. Kap. 3.2.2). Es ist geplant, die Modellierungshinweise für Gebäude zu komplettieren und sinngemäß auf andere CityGML-Module zu übertragen.

■ Profile

CityGML-Profile ermöglichen eine anwendungs-, projekt- oder produktbezogene Einschränkung des CityGML-Funktionsumfangs. Durch sie kann für einen definierten Anwendungsfall und die damit verbundene Reduktion der Komplexität eine deutliche Steigerung von Performanz und Qualität erzielt werden. Beispielhaft wären hier die CityGML-Profile der AdV zu nennen (vgl. Kap. 2.1). Allgemeine Regeln für die Erstellung von Profilen wurden von der SIG3D noch nicht erstellt.

■ Prüfung

Die Prüfung von Eigenschaften eines 3D-Objektes liefert als Ergebnis ein Maß für seine Qualität in Bezug auf definierte Anforderungen. Die Aussagekraft dieses Ergebnisses ist abhängig von der Vollständigkeit und Exaktheit, mit der Anforderungen formuliert werden. Das Ergebnis einer Prüfung ist in der Regel nicht *wahr*

oder *falsch*, sondern eine Aussage darüber, inwieweit ein Objekt über bestimmte Eigenschaften verfügt. Wird etwa ein Volumenkörper auf Geschlossenheit geprüft, bedeutet ein negatives Prüfergebnis nicht, dass dieses Objekt *falsch* ist, sondern, dass es sich nicht um ein Volumenobjekt handelt. Je nach Anwendungsfall, etwa für Visualisierungszwecke, ist dieses Objekt möglicherweise sogar hervorragend geeignet, obwohl das Prüfkriterium nicht erfüllt wurde.

Die Prüfung eines 3D-Objekts kann beginnend mit einer reinen lexikografischen Prüfung und Syntaxprüfung über eine geometrische Prüfung bis zu semantischen Prüfungen mehrstufig erfolgen (s. Kap. 3.3). Die SIG3D verfolgt ein solch modulares und transparentes Prüfkonzept für große Mengen von 3D-Objekten mit standardisierten Prüfroutinen. Hierbei werden alle Objekte zunächst einer einfachen, schnellen Prüfung mit hinreichender Zuverlässigkeit unterzogen und nur die Objekte näher betrachtet, die kein eindeutiges oder ein negatives Prüfergebnis erzielt haben. Jedem Objekt werden so erfüllte und nicht erfüllte Eigenschaften in Form eines Prüfprofils zugeordnet.

Für Anwendungsszenarien müssen anschließend Anforderungsprofile definiert werden, mit denen die Prüfprofile einzelner Objekte abgeglichen werden können.

■ Leistungsbeschreibung

Leistungsbeschreibungen dienen im Projektalltag der Festlegung der durch einen Dienstleister zu erbringenden Sachleistungen. In ihnen werden Eigenschaften, Funktionen und Qualitätsmerkmale der zu erbringenden Leistung spezifiziert.

Wesentliche Teile der Leistungsbeschreibungen können auf bereits beschriebene Komponenten zurückgreifen, wie beispielsweise das Modellierungshandbuch oder Produktdefinitionen durch projektspezifische- oder CityGML-Profile. Explizite Leistungsbeschreibungen bzw. Ausschreibungstexte sind zurzeit noch nicht verfügbar.

Weitere Bestandteile des Qualitätskonzepts sind die Zertifizierung von Objekten, d. h. die Einhaltung zugesicherter Eigenschaften nach festgelegten Verfahren und die Verankerung von Qualitätssicherungsverfahren in der Fortführung.

Die Bestandteile des Qualitätskonzepts der SIG3D liegen zum jetzigen Zeitpunkt nur teilweise vor. Es lässt sich aber bereits erkennen, dass der eingeschlagene Weg erfolgreich in Praxisprojekten beschritten werden konnte.

3.1 Konformitätsbedingungen

Neben der Schemakonformität werden entsprechend den Vorgaben der ISO 19105 (2000) zusätzliche Konformitätsbedingungen an CityGML-Instanzdokumente gestellt. Als Konformitätsbedingungen bezeichnet man Einschrän-

kungen, zu deren Einhaltung die ISO-Norm 19105 folgende drei Arbeitsschritte vorschreibt:

1. Festlegung des Ziels der Konformitätsprüfung,
2. Beschreibung der Methode bzw. Grundlage der Konformitätsprüfung zu ausgewählten Abschnitten der CityGML-Spezifikation sowie die
3. Bewertung des Ergebnisses.

Im normativen Teil des CityGML-Standards der Version 2.0 existieren umfangreiche Konformitätsbedingungen. Sie stellen neben dem Schema weitere Vorgaben für die Gültigkeit von CityGML-Instanzdokumenten dar. Die Konformitätsbedingungen umfassen zum einen den »allgemeinen Teil«, der sich auf sämtliche Module bezieht. Zum anderen beinhaltet Anhang B der CityGML-Spezifikation zu jedem Modul die speziellen, verpflichtenden Anforderungen und wie diese zu prüfen sind.

Die Konformitätsbedingungen sind nicht in den XML-Schemadateien enthalten, ihre Einhaltung kann also nicht durch Schema-Validierung überprüft werden (vgl. auch Kap. 3.3). Die Formulierung in einer allgemeingültigen, maschinenlesbaren Sprache, wie etwa der Object Constraint Language (OCL) (Warmer und Kleppe 2003) und deren Implementierung in Evaluierungssoftware zur Anwendung auf CityGML-Instanzdokumente wäre wünschenswert. Das AAA®-Datenmodell gibt ein Beispiel für eine erfolgreiche Implementierung von Zusicherungen. Hier wurde teilweise die automatische Überprüfung der Einhaltung der im AAA®-Datenmodell beschriebenen Einschränkungen durch XML-basierte, skalierbare Scriptsprache erreicht. Die Umsetzung der auf die Datenhaltung angewendeten Regeln kann also stets der aktuellen Geo-InfoDok angepasst werden.

3.2 Modellierung

Die Modellierungsrichtlinien sind als separate Dokumente, den Modellierungshandbüchern realisiert (SIG3D 2012a), die verschiedene thematische Bereiche abdecken. Sie sollen sowohl von Softwareentwicklern, die CityGML-Schnittstellen für CAD- oder GI-Systeme implementieren, als auch von Anwendern dieser Systeme genutzt werden.

3.2.1 Regeln für valide GML Geometrie-Elemente in CityGML

Das Modellierungshandbuch – Teil 1 (SIG3D 2012b) enthält Informationen, welche Bedingungen ein korrekter CityGML-Datensatz über die Schema-Regeln und das Einhalten der Konformitätsbedingungen hinaus erfüllen muss. Solche Zusatzbedingungen existieren vor allem für die korrekte Repräsentation geometrischer Objekte. So baut CityGML auf der GML-Syntax und deren Repräsentation von Punkt-, Linien-, Flächen- und Volumengeometrie auf. Allerdings schränkt CityGML die hohe Komplexität des Basisstandards in zweierlei Hinsicht ein:

- Es wird nur eine Teilmenge der GML-Geometrieobjekte zugelassen. CityGML unterstützt nur die von Softwarewerkzeugen leicht zu verarbeitende lineare Interpolation für Stützpunkte der Außenkontur einer Fläche.
- Für die unterstützten Geometrieobjekte schränkt CityGML die Vielzahl der gleichwertigen, aber syntaktisch unterschiedlichen XML-Repräsentationen ein.

Das Modellierungshandbuch – Teil 1 führt explizit die in CityGML zulässigen GML-Geometrieobjekte auf und erläutert ihre Anwendung. Außerdem werden die Bedingungen für korrekte Flächen- und Volumengeometrie sowie die ihrer Komposite *gml:CompositeSurface* und *gml:Solid* mathematisch formuliert und beispielhaft erläutert. Zu diesen Bedingungen gehört insbesondere, dass Außen- und Innenkonturen von Polygonen keine Überlappungen aufweisen dürfen und ihre Stützpunkte auf einer Ebene liegen, die Flächen also koplanar sind.

3.2.2 Modellierung von Gebäuden in LoD1, LoD2 und LoD3

Zentrale Funktion des Modellierungshandbuchs – Teil 2 (SIG3D 2012b) ist die Unterstützung bei der Abbildung realer Gebäude auf CityGML-Objekte, Attribute und Relationen. Der Standard bietet vielfach mehrere Möglichkeiten für diese Abbildung, die zu visuell ähnlichen Modellen führen, semantisch aber unterschiedliche Eigenschaften haben. Das Modellierungshandbuch formuliert Kriterien und gibt Empfehlungen, welche Variante in bestimmten Fällen zu verwenden ist, um den interoperablen Austausch von CityGML-Modellen zwischen unterschiedlichen Fachsystemen zu erleichtern. So werden beispielsweise das Konzept des LoD sowie die Definition bestimmter Attribute (Gebäudehöhe, Geländeschnittlinie, Adresse) für die nationale Verwendung präzisiert. Außerdem werden Empfehlungen formuliert, wie Informationen über das verwendete Referenz-Koordinatensystem spezifiziert werden sollten.

Das Handbuch definiert keine Kriterien, welche architektonische Details eines Gebäudes (z. B. Balkone, Dachgauben oder Loggien) tatsächlich zu erfassen sind. In Abhängigkeit von den aus unterschiedlichen Datenquellen (ALKIS®, Befliegungen, terrestrische Vermessungen) zur Verfügung stehenden Informationen werden aber Empfehlungen formuliert, wie diese in CityGML abgebildet werden sollten. Dabei wird zwischen der Basismodellierung unterschieden, die das Gebäude als Ganzes betrachtet, und der Abbildung architektonischer Details. Aktuell ist nur die Beschreibung der Basismodellierung für LoD1 bis LoD3 abgeschlossen. Für die Beschreibung der Modellierung von inneren Strukturen eines Gebäudes, wie Räume, Decken oder Fußböden ist ein separater Teil des Handbuchs geplant.

Zunächst werden die beiden Klassen für Gebäude (*Building*) und Gebäudeteile (*BuildingPart*) semantisch definiert und Empfehlungen spezifiziert, welche Sach-

datenattribute und Geometrierepräsentationen jeweils verwendet werden sollten. Insbesondere werden Regeln aufgestellt und an Beispielen illustriert, in welchen Fällen ein Gebäude in *BuildingParts* untergliedert werden sollte (Abb. 2a) und wann dies nicht erfolgen sollte (Abb. 2b).

In höheren LoDs kann die Außenhülle eines Gebäudes durch spezifische, von der Oberklasse *_BoundarySurface* abgeleiteten Klassen semantisch spezifiziert werden. Ab LoD3 können diese Flächen zusätzlich noch auf Türen (*Door*) und Fenster (*Window*) referieren. Das Modellierungs handbuch gibt auch hier Hilfestellungen, wie diese Klassen für reale Gebäude verwendet werden sollten. So wird beispielsweise festgelegt, wie bestimmte Dachformen mit Hilfe der CityGML Klasse *RoofSurface* abzubilden sind (s. Abb. 3) und wie generell mit Dach überständen zu verfahren ist.

3.3 Prüfung

Die Prüfung von semantischen Datenmodellen wie CityGML ist Gegenstand von Forschung und Entwicklung. Da sie in der Regel anwendungsabhängig sein muss, um entsprechende Qualitätsaussagen treffen zu können, sind flexible regelbasierte Werkzeuge nötig, zurzeit aber noch nicht verfügbar. Allerdings gibt es kommerzielle und freie Werkzeuge, die Teilespekte der Prüfung abdecken.

Ein gültiges CityGML-Modell muss auf jeden Fall gegen die offizielle CityGML-Schemata validieren, was mit jedem beliebigen XML Schema-Validator geprüft werden kann. Einen Überblick über kommerzielle und freie Software-Tools findet man unter W3C (2012). Zur visuellen Überprüfung von CityGML-Modellen stehen neben kommerziellen Produkten die freien Werkzeuge Aristoteles (IGG 2012) und der FZKViewer (KIT 2012) zur Verfügung.

Visualisierungswerzeuge sind in der Lage, CityGML-Modelle dreidimensional darzustellen und die entsprechenden Sachdaten anzuzeigen. Dadurch ist sowohl eine erste Prüfung der Geometrie und der Darstellungseigenschaften (Farbe, Textur) der Modelle als auch eine grobe

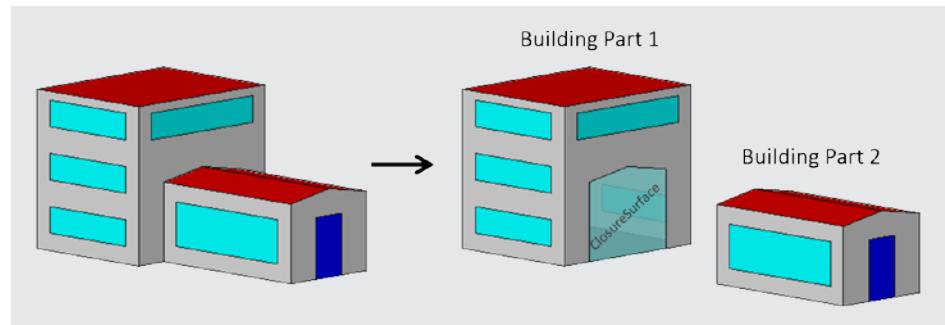


Abb. 2a: Modellierung »strukturell eigenständiger« Gebäudeteile durch *BuildingParts*

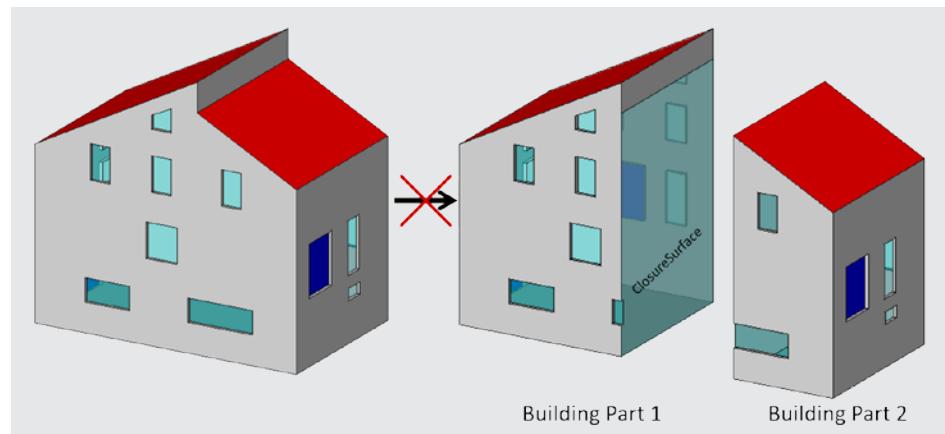


Abb. 2b: Beispiel eines Gebäudes, das nicht untergliedert werden sollte.

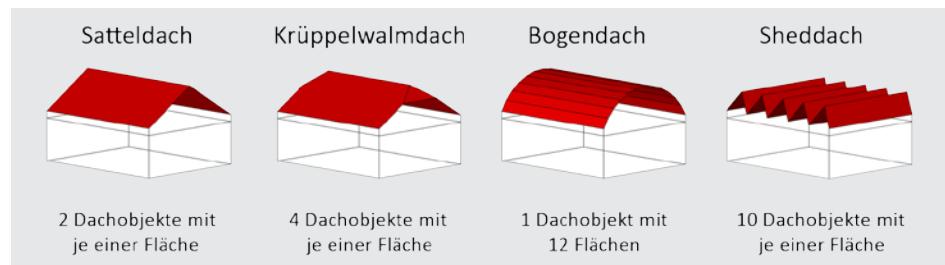


Abb. 3: CityGML-Modellierung unterschiedlicher Dachformen

Überprüfung der Sachdaten möglich. Weitere Funktionen, wie das thematische Einfärben der Modelle nach z.B. Höhen, Adressen oder Flächennormalen oder aber das Ergänzen der CityGML-Modelle mit anderen Daten wie z. B. OpenStreetMap bzw. verfügbaren Web Map Services helfen, einen ersten Überblick über die Qualität der Modelle zu bekommen.

4 CityGML in der Anwendung

Bereits seit seiner Veröffentlichung als Best Practice Paper in der Version 0.4 (Gröger et al. 2007) wird das Datenmodell von CityGML in der Praxis verwendet. In diesem Abschnitt werden nun, naturgemäß unvollständig, Beispiele gegeben, in denen CityGML verschiedener Versionen als Datengrundlage, als Integrationsplattform oder als Ausgangspunkt für fachspezifische Erweiterungen in der Praxis zum Einsatz gekommen ist.

4.1 Umwelt- und Energieplanung mit dem Energieatlas Berlin

Die gegenwärtigen klima- und umweltschutzpolitischen Bemühungen führen zu umfangreichen Planungen zur Umgestaltung der Infrastrukturen in Städten. Ein klimapolitisches Ziel der Stadt Berlin ist beispielsweise die Senkung der CO₂-Emissionen um 40 Prozent bis zum Jahr 2020. Im Fokus des Berliner Umweltentlastungsprogrammes (UEP) (SenGUV 2011) stehen die Gebäude und deren Wärmeenergiebedarf, der einen Anteil von bis zu 80 Prozent am Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes ausmacht und sich auf zwei Drittel bis drei Viertel des gesamten städtischen Energiebedarfes summiert. Ein Schwerpunkt des Berliner UEP ist daher die energetische Gebäudesanierung.

Die verschiedenen Maßnahmen erfordern eine ganzheitliche Planung und die Integration vielschichtiger Informationen in ein gemeinsames Informationsmodell. Zu diesem Zweck wurde die Initiative »Energieatlas Berlin« durch Vertreter der Wissenschaft, Energiewirtschaft und Verwaltung initiiert und durch das European Institute of Innovation and Technology (EIT) gefördert. Auf CityGML basierend ermöglicht der Energieatlas Berlin die Gestaltung einer integrativen Ontologie zur räumlich-semantischen Repräsentation der Stadtstruktur einschließlich energierelevanter Informationen verschiedener Fachdisziplinen. Als Datenbasis dient das offizielle virtuelle 3D-Stadtmodell von Berlin, vornehmlich LoD2-Gebäudemodelle, das durch Fachinformationen der beteiligten Akteure angereichert wird.

CityGML stellt bereits einen Großteil der benötigten Klassen und Attribute bereit. Weitere fachspezifische Entitäten werden als ADE sowie über generische Objekte und generische Attribute in den Energieatlas integriert. Durch seine Flexibilität erweist sich CityGML als ein ideales Informationsmodell für eine gemeinsame Datengrundlage zur Umwelt- und Energieplanung. Diese Datengrundlage beinhaltet zum einen die Repräsentation des Ist-Zustandes der umwelt- und energierelevanten Objekte und Parameter und zum anderen die Darstellung von Handlungsoptionen. Letztere basieren auf Analysen und Simulationen unter Verwendung der geometrischen und semantischen Informationen im Energieatlas Berlin und beinhalten u.a. die Abschätzung der Strom- und Wärmeenergiebedarfe von Gebäuden, die damit verbundenen energetischen Gebäudeeigenschaften und -sanierungspotenziale (Kaden et al. 2012).

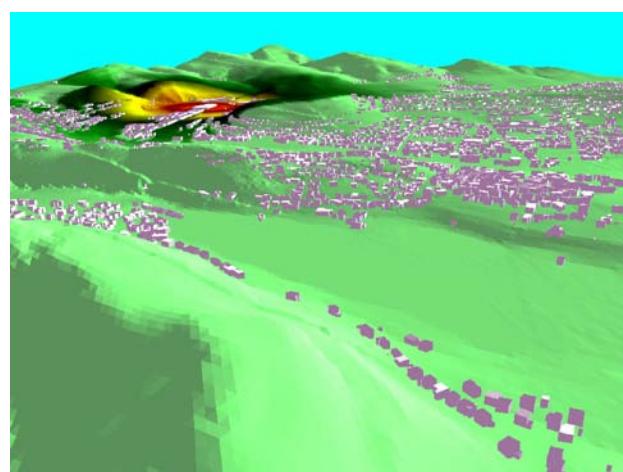
Die Berechnung des Nutzenergiebedarfes von Gebäuden für die Raumwärme erfolgt nach dem Verfahren »Energiepass Heizung/Warmwasser« (IWU 2012). Durch die semantisch aufgelöste Strukturierung der CityGML-Datenbasis können die benötigten Flächenzahlen für den Heizwärmebedarf eines Gebäudes, etwa Transmissionswärmeverluste, problemlos aus dem Energieatlas errechnet werden. Für die Wärmedurchgangskoeffizienten der einzelnen Bauteile werden Durchschnittswerte in Abhän-

gigkeit der im Stadtmodell vorhandenen Baualtersklassen bereitgestellt. Die Pauschalwerte für den natürlichen Luftwechsel können, in Abhängigkeit von der in CityGML repräsentierten Nutzungsart, der Dokumentation des IWU entnommen werden. Analog zu den Wärmeverlusten werden die nutzbaren Wärmegewinne aus den geometrischen und semantischen Informationen des 3D-Stadtmodells berechnet (Kaden et al. 2013).

Das Konzept des Energieatlas Berlin verdeutlicht den Nutzen eines semantisch aufgelösten virtuellen 3D-Stadtmodells für die Umwelt- und Energieplanung in Städten. Die Nutzung des CityGML Datenmodells ermöglicht komplexe Analysen themenübergreifend und auf der Skalenebene einer gesamten Stadt durchzuführen. Durch die Verwendung von CityGML können die entwickelten Methoden und Werkzeuge leicht auf andere Städte mit entsprechenden 3D-Stadtmodellen übertragen werden.

4.2 Lärmsimulation und Kartierung

Für die Simulation und Kartierung von Umgebungslärm spielen die Geometrie und die Semantik von CityGML eine wesentliche Rolle. In Europa verpflichtet eine EU-Richtlinie (EU RICHTLINIE 2002/49/EG 2002) die Mitgliedstaaten, alle fünf Jahre die Lärmelastung zu ermitteln und in Lärmkarten zu dokumentieren. Dabei wird die Lärmelastung nicht gemessen, sondern unter Nutzung von Lärmausbreitungsmodellen simuliert. In Nordrhein-Westfalen werden sowohl die Eingangsdaten als auch die Ergebnisse der Lärmsimulation über 3D-Geodateninfrastrukturen (3D-GDI) bereitgestellt. Zur Ermittlung der Lärmelastung wird die Software LimA der Fa. Stapelfeldt eingesetzt; die Ergebnisse sind veröffentlicht (MKULNV NRW 2012). CityGML wird in dieser GDI für die Repräsentation und den Austausch aller wesentlichen Daten, wie den 3D-Gebäuden (LoD1), Straßen, Schienenwege und das Gelände genutzt. Neben der 3D-Geometrie ist die Semantik der Geo-Objekte entscheidend. So ist die Funktion eines Gebäudes als Wohngebäude, Schule oder



Quelle: Geobasis.NRW, IGG TU Berlin, Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft, LANUV NRW

Abb. 4: Farbige Darstellung der Lärmausbreitung als Ergebnis der Lärmsimulation unter Nutzung von LoD1-Gebäuden

Krankenhaus wichtig, da für solche Gebäude besondere Lärmschutzbedingungen gelten. Diese Information wird über das *function*-Attribut des Gebäudemodells bereitgestellt. Für spezielle Attribute und Objektarten, die für die Lärmkartierung benötigt werden, wurde eine CityGML ADE, die *NoiseADE*, auf Basis von CityGML 1.0 entwickelt (vgl. Czerwinski et al. 2007). Diese definiert zusätzliche Klassen etwa für Lärmschutzwände und zusätzliche Attribute für Straßen, etwa das Verkehrsaufkommen differenziert nach Tageszeit und Fahrzeugkategorie sowie die Anzahl der Bewohner für Gebäude. Die zweite Stufe der Lärmkartierung, die Ende 2012 abgeschlossen wurde, umfasste ein gegenüber der Stufe 1 verfeinertes Verkehrsnetz und detailliertere lärmrelevante Informationen (Czerwinski et al. 2013). Ebenso wurde eine vereinfachte Version des in Version 2 eingeführten Brückenmodells integriert, da Brücken sowohl als LärmbARRIERE als auch zur Modellierung des Verkehrs eine wesentliche Rolle spielen (Abb. 4).

4.3 Katastrophenmanagement

Geoinformationen, insbesondere auch im 3D-Bereich, spielen für den Katastrophenschutz eine zunehmende Rolle. Dies betrifft die Bereiche, die sich mit dem Schutz der Bevölkerung vor und nach einer Katastrophe befassen und die geschehenen oder zukünftigen Ereignisse der Katastrophe in einen räumlichen und thematischen Kontext setzen. Hier spielen der Nachweis von Evakuierungsräumen in öffentlichen Gebäuden, Überschwemmungsszenarien bis hin zur Befahrbarkeit von Wegen und dem Einsatz von schwerem Gerät eine wichtige Rolle. In großräumigen Stadtmodellen sind auch Simulationen von Einsatzszenarien sinnvoll. Abb. 5 zeigt ein Luftrettungsszenario im LoD2-Modell des Stadtteils Barkenberg im Kreis Recklinghausen. Datengrundlage dieses Szenarios sind für den Stadtteil flächendeckende CityGML-Gebäudeobjekte (*Building*) und Stadtmöbel (*CityFurniture*) mit weitgehend impliziter Geometrie (*ImplicitGeometry*).



Abb. 5: Luftrettungsszenario im Stadtmodell »Barkenberg«, Kreis Recklinghausen

In der Vorplanung von Großereignissen können 3D-Informationen hinsichtlich der Eignungstests von Evakuierungsplänen hilfreich sein. Dazu werden in einem Simulationsmodell Besucher durch Objekte mit bestimmten Bewegungseigenschaften (Modellierung des Fluchtverhaltens, eingeschränkte Bewegungsfähigkeit, etc.) ersetzt. Vor allem geländebedingte Hindernisse können so bereits während der Vorbereitungsphase von evtl. notwendig werdenden Evakuierungen berücksichtigt werden.

Für das Katastrophenmanagement sind insbesondere mobile Benutzungskomponenten sinnvoll, damit sich Einsatzkräfte bereits während der Anfahrt und vor Ort mit den am Einsatzort zu erwartenden Gegebenheiten vertraut machen können.

Für den Aufbau von im Katastrophenfall nutzbaren 3D-Informationen ist die Erhebung einer Vielzahl von Fachinformationen unerlässlich. Hierzu zählen auch in CityGML noch nicht abgebildete Sachverhalte. Die Erweiterung von CityGML um die Fachinformationen der Versorgungsnetzwerke bietet sämtlichen Akteuren einer Stadt die Basis für ein gemeinsames Verständnis in Krisensituationen und legt den Grundstein für den standardisierten Datenaustausch zwischen unterschiedlichen technischen Systemen. Das in Becker et al. (2010, 2013) vorgestellte Datenmodell der UtilityNetworkADE repräsentiert die 3D-Topographie, 3D-Topologie und die funktionalen Eigenschaften und Wechselwirkungen von Versorgungsnetzwerken und deren Komponenten ebenso wie die hierarchischen Darstellungen für Netze und Komponenten. Diese Charakteristika ermöglichen es, raumbezogene Analysen durchzuführen, um implizite

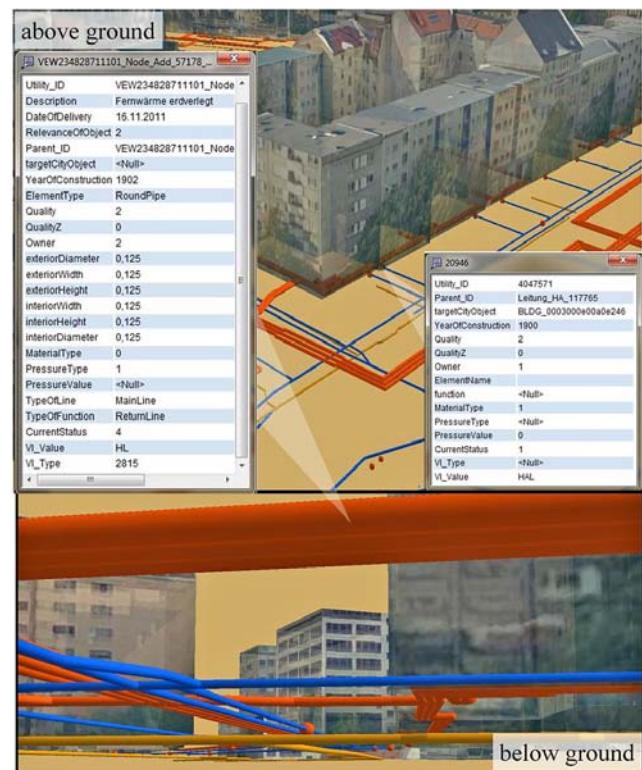


Abb. 6: Einbettung von multiplen Versorgungsnetzwerken in den umgebenden 3D-Raum

Abhängigkeiten zwischen Netzkomponenten innerhalb derselben bzw. zwischen verschiedenen Versorgungsinfrastrukturen zu berechnen. Darüber hinaus ermöglicht der CityGML-ADE-Mechanismus die Referenzierung anderer städtischer Entitäten und eröffnet den Anwendern so vielseitige Möglichkeiten der Analyse, Prädiktion und Simulation (Abb. 6).

Die logische Darstellung von Netzwerken und deren Abhängigkeiten unterstützen komplexe Analysen und Simulationen, wie sie in den Bereichen Katastrophenschutz, kritische Infrastrukturanalyse, strategische Energieplanung und Stromnetzsimulation erforderlich sind. Kollisionsabfragen würden beispielsweise Rohrbrüche durch Grabungsarbeiten verhindern helfen. Bezüglich bisher existierender Datenmodelle ermöglicht das CityGML-UtilityNetwork-Modell den Austausch oder die Verknüpfung von Daten zwischen verschiedenen Systemen, denen Datenmodelle wie INSPIRE, ESRI-Utility Networks, IFC oder CityGML zugrunde liegen. Dadurch wird die Interoperabilität zwischen den einzelnen Modellen gestärkt (Hijazi et al. 2010).

4.4 Stadtplanung

Die Nutzung im Rahmen von städtebaulichen Maßnahmen ist eine der wichtigsten Anwendungen von 3D-Informationen. Dabei ist weniger die Modellierung des tatsächlich vorhandenen Bestands als die Integration von Planungen aus den unterschiedlichsten Quellen sowie die bedarfsgerechte Präsentation als Herausforderung zu sehen.



Abb. 7a:
Stadtmodell
»Barkenberg«
im Kreis Reck-
linghausen (Pla-
nungsvariante 1)



Abb. 7b:
Stadtmodell
»Barkenberg«
im Kreis Reck-
linghausen (Pla-
nungsvariante 2)

Ein Beispiel für die großräumige Visualisierung von städtebaulichen Planungen ist das 3D-Projektmodell »Wulfen-Barkenberg« im Kreis Recklinghausen (Abb. 7). Der Stadtteil wurde in den 70er Jahren außerhalb bestehender Bebauung geplant und gebaut. Aufgrund von neuerlichen Entwicklungen und demografischem Wandel in der gesamten Region waren bereits negative Entwicklungen im städtebaulichen Gefüge zu beobachten.

Um dem entgegenzuwirken, soll unter Beteiligung von Wohnungsbauunternehmen und Mietern der Stadtteil im

Kernbereich umgestaltet werden. Dazu wurde ein texturiertes CityGML LoD2-Modell des Bestands erstellt, in das bereits frühzeitig zwei Planungsvarianten integriert wurden. Die frühzeitige Visualisierung hilft Planungsfehler zu vermeiden, die Planung politischen Entscheidern nahezubringen und Akzeptanz in der Bevölkerung zu schaffen.

Die Visualisierung stand auch aus den oben genannten Gründen beim Aufbau des Projektmodells »Neue Berufskollegs« (Abb. 8), in dem eine ehemalige Zechenbrache



Abb. 8: Projektmodell »Neue Berufskollegs« im Kreis Reck-
linghausen

in Recklinghausen überplant wird, im Vordergrund. Die vorhandenen CityGML-Basisdaten bildeten dabei für die Integration in das städtebauliche Umfeld einen wichtigen Bestandteil. Eine Reihe von Diskussionen konnten mit Hilfe des Modells konkretisiert werden:

- Beseitigung oder Erhalt von noch vorhandenen, historischen Bauwerken,
- Berücksichtigung von wichtigen funktionalen Bauwerken in der unmittelbaren Nachbarschaft,
- Abwägung von Möglichkeiten zur gefahrlosen Erreichbarkeit des Geländes sowie
- Positionierung von Kunstobjekten.

Darüber hinaus konnten mit den 3D-Informationen weitere konkrete Fragestellungen begleitet und die Öffentlichkeitsarbeit unterstützt werden.

Einen weiteren Vorteil von 3D-Informationen im städteplanerischen Rahmen zeigt die Modellierung des historischen Gebäudebestands des ehemaligen Zechengeländes »Fürst-Leopold« im Kreis Recklinghausen (Abb. 9). Sie ermöglicht eine Bürgerinformation, obwohl das Gelände real wegen der noch bestehenden Bergaufsicht nicht ohne weiteres betreten werden kann. Zudem können bei einer geschätzten Entwicklungszeit von 10 bis 15 Jahren auch zukünftige Planungen in ein geeignetes digitales Szenario übernommen und beurteilt werden. Ein Nebenprodukt des Modells war darüber hinaus eine Internetpräsentation im Rahmen der »Extraschicht«. Die Bereitstellung und Visualisierung der vollständigen Szenarien im Internet erfolgte mit einem W3DS, mit dem neben der Geometrie auch die semantischen Informationen transportiert werden können. Für die Dauer des Projektes konnten die



Abb. 9: Projektmodell »Zeche Fürst Leopold, Dorsten« im Kreis Recklinghausen

Daten leicht in der Datenbanksoftware von CPA Systems aktuell gehalten werden (CPA 2012).

Die Beispiele zeigen auf, dass die städtebauliche Planung durch die 3D-Modelle wesentlich unterstützt werden kann. Die Vorteile von CityGML gegenüber reinen Visualisierungsformaten in Bezug auf semantische Analysen werden allerdings noch nicht voll ausgeschöpft. So können mit CityGML-konformen Daten die Gebäudetypen, wie öffentliche Gebäude u. ä. bereits ohne Verschnitt mit weiteren Fachinformationen ermittelt werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

CityGML ist als wohldefiniertes semantisches Modell zur Repräsentation, zum Austausch und zur Analyse virtueller 3D-Stadtmodelle in der Praxis gut aufgenommen worden. Wesentliche Gründe für die hohe Akzeptanz von CityGML bis heute sind:

- Eine positive gegenseitige Beeinflussung durch andere, im öffentlichen Bereich verwendete Formate wie das AAA®- oder das INSPIRE Building Modell. Die grundlegende Einigung auf die GML-Geometrirepräsentation und das LoD-Konzept erleichtert es, Geobasisdaten in die jeweils anderen Formate zu übertragen.
- Der integrative Charakter von CityGML, der eine Anpassung des Standards an die jeweiligen Anwendungsbereiche ermöglicht. Hier sind insbesondere die Bildung von Profilen zur Einschränkung sowie die Erweiterung durch das Konzept der Application Domain Extensions (ADE) und die Generischen Objekte zur Repräsentation nicht im Standard modellierter Entitäten zu nennen.
- Ein modulares Qualitätskonzept der SIG3D sowie ein Modellierungshandbuch, das es dem Anwender erleichtert, valide CityGML-Instanzmodelle zu erstellen und in der Folge auszutauschen.
- Die Möglichkeit, CityGML-Modelle über einen WFS und den W3DS im Internet zu publizieren.

Die Anwendungspotenziale von CityGML sind bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. So kann die semantische Tiefe von CityGML noch mehr genutzt werden, wie dies beim Energieatlas Berlin und der Modellierung der Versorgungsnetzwerke erfolgreich getan wurde. Dies wird in der Zukunft zunehmend möglich sein, da sich die im internationalen, europäischen und nationalen Kontext wichtigen Geobasisdatenstandards annähern und bereits jetzt in der Geometriedarstellung vergleichbar sind. Dennoch werden die entsprechenden Standards ihre Berechtigung behalten. Dies zeigt die wirtschaftliche Nutzung der NAS in ALKIS3D, die so durch CityGML nicht realisiert werden könnte. Datenformate sind in ihrer Entwicklung also stark von ihrer Historie beeinflusst. Dadurch lässt sich auch erklären, warum die Übereinstimmung des relativ neuen INSPIRE-Datenmodells mit CityGML im Bereich der Gebäudemodellierung so groß ist.

Eine Erweiterung der Anwendungsfelder ist durch die Veröffentlichung von CityGML der Version 2.0 wahrscheinlich. Hier sind insbesondere die neu eingeführten Brücken- und Tunnelmodule zu nennen, die eine Unterstützung der Verkehrsleitplanung in Bezug auf Schwerlasttransporte ermöglichen. Gerade Brücken und Tunnel stellen für diese Art von Fahrzeugen ein Nadelöhr dar. Zudem wird CityGML innerhalb der SIG3D mit Hinblick auf ein verbessertes Anwendungspotenzial weiterentwickelt. Ansatzpunkte hierbei sind eine stringenter und einheitlichere Definition des LoD-Konzeptes sowie eine weiterführende semantische Differenzierung von Innenräumen durch die Einführung von Geschossen und ein Appartementkonzept, das eine Aggregation von Innenräumen zu einer Wirtschaftseinheit zulässt. Mit dem letzten Punkt wird sich CityGML neben den bestehenden Anwendungsfeldern auch dem wirtschaftlich geprägten Bereich des Facility Managements öffnen.

Literatur

- AG Fortführung (2007): Gemeinsame Arbeitsgruppe »Fortführung von 3D-Stadtmodellen« des Städtetages NRW und der SIG3D: Fortführung von 3D-Stadtmodellen, ein Zwischenbericht.
- Becker, T., Nagel, C., Kolbe, T. H. (2010): Integrated 3D modeling of multi-utility networks and their interdependences for critical infrastructure analysis. In: Kolbe, T. H., König, G., Nagel, C. (Eds.), Advances in 3D Geo-Information Sciences, pp. 1–20.
- Becker, T., Nagel, C., Kolbe, T. H. (2013): Semantic 3D modeling of multi-utility networks in cities for analysis and 3D visualization. In: Pouliot, J., Daniel, S., Hubert, F., Zamyadi, A. (Eds.), Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences, pp. 41–62.
- Collada (2012): Digital Asset & FX Exchange Schema. Offizielle Internetpräsenz. URL: <https://collada.org>, letzter Zugriff 5.12.2012.
- Cox, S., Daisey, P., Lake, R., Portele, C., Whiteside, A. (Eds.) (2004): Open GIS® Geography Markup Language Implementation Specification, Version 3.1.1, OGC Doc No. 03-105r1, Open Geospatial Consortium.
- CPA (2012): CPA Systems GmbH, Siegburg. URL: www.cpa-systems.de, letzter Zugriff 3.12.2012.
- Crosby, P. B. (1979): Quality is free. New York.
- Czerwinski, A., Sandmann, S., Stöcker-Meier, E., Plümer, L. (2007): Sustainable SDI for EU noise mapping in NRW – best practice for INSPIRE. International Journal for Spatial Data Infrastructure Research 2 (1), pp. 90–111.

- Czerwinski, A., Gröger, G., Reichert, S., Plümer, L. (2013): Qualitätssicherung einer 3D-GDI EU-Umgebungslärmkartierung Stufe 2 in NRW. Erscheint in: zfv, 138. Jg., 2013.
- Gerschwitz, A., Gruber, U., Schlüter, S. (2012): Die dritte Dimension im ALKIS®. In: Kummer, K., Frankenberger, J. (Hrsg.), Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen 2012. Wichmann Verlag, Berlin/Offenbach, S. 279–310.
- EU RICHTLINIE 2002/49/EG (2002): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 189/12 vom 18.7.2002.
- Gröger, G., Kolbe, T.H., Czerwinski, A. (Eds.): City Geography Markup Language (CityGML). OGC Best Practices Document, Version 0.4.0, OGC Doc No. 07-062, Open Geospatial Consortium, 2007.
- Gröger, G., Kolbe, T.H., Nagel, C., Häfele, K.-H. (Hrsg.): OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, Version 2.0, OGC Doc No. 12-019, Open Geospatial Consortium, 2012.
- Gruber, U. (2012): Die dritte Dimension im amtlichen Vermessungswesen Deutschlands. In: Löwner, M.-O., Hillen, F., Wohlfahrt, R. (Hrsg.), Geoinformatik 2012 »Mobilität und Umwelt«. Konferenzband zur Tagung Geoinformatik 2012 vom 28.–30.03.2012, Braunschweig, S. 303–309.
- Hijazi, I., Ehlers, M., Zlatanova, S., Becker, T., Berlo, L. v. (2010): Initial Investigations for Modeling Interior Utilities Within 3D Geo Context: Transforming IFC-Interior Utility to CityGML/UtilityNetworkADE. In: Kolbe, T.H., König, G., Nagel, C. (Eds.), Advances in 3D Geo-Information Sciences, pp. 95–113.
- IGG (2012): Institut für Geographie und Geodäsie der Universität Bonn, Aristoteles Viewer. URL: www.igk.uni-bonn.de/aristoteles/index.php Aristoteles, letzter Zugriff 17.12.2012.
- INSPIRE Thematic Working Group on Buildings (2012): D2.8.III.2 Data Specification on Building – Draft Guidelines. Version 3.0rc2. URL: http://inspire.jrc.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_BU_v3.0rc2.pdf, letzter Zugriff 20.12.2012.
- IWU (2012): Institut Wohnen und Umwelt GmbH (Hrsg.): Energiepass Heizung/Warmwasser, Darmstadt 1997.
- ISO 19105 (2000): Geographic information – Conformance and testing. International Organization for Standardization, Technical Committee 211.
- IWU (2012): Institut Wohnen und Umwelt. URL: www.iwu.de/downloads/fachinfos/energiebilanzen/, letzter Zugriff 22.12.2012.
- Kaden, R., Krüger, A., Kolbe, T.H. (2012): Integratives Entscheidungswerkzeug für die ganzheitliche Planung in Städten auf der Basis von semantischen 3D-Stadtmodellen am Beispiel des Energieatlases Berlin. In: Seyfert, E. (Hrsg.), Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e. V., Band 21.
- Kaden, R., Prytula, M., Krüger, A., Kolbe, T.H. (2013): Energieatlas Berlin: Vom Gebäude zur Stadt – Am Beispiel zur Abschätzung der Wärmeenergiebedarfe von Gebäuden. In: Koch, A., Bill, R., Donaubauer, A. (Hrsg.), Geoinformationssysteme, Beiträge zum 18. Münchener Fortbildungsseminar 2013.
- KIT (2012): Institut für Angewandte Informatik (IAI) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), FZKViewer. URL: www.iai.kit.edu/FZKViewer, letzter Zugriff 17.12.2012.
- KML (2012): Keyhole Markup Language, offizielle Dokumentation von KML. URL: <https://developers.google.com/kml/documentation>, letzter Zugriff 4.12.2012.
- Kolbe, T.H. (2008): CityGML, KML und das Open Geospatial Consortium. In: Tagungsband zum 13. Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme des Runder Tisch e. V., 2008.
- Löwner, M.-O., Benner, J., Gröger, G., Gruber, U., Häfele, K.-H., Schlüter, S. (2012): CityGML 2.0 – Ein internationaler Standard für 3D-Stadtmodelle, Teil 1: Datenmodell. zfv 6/2012, 137. Jg., S. 340–349, 2012.
- MKULNV NRW (Hrsg.) (2012): Internetseite des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. URL: www.umgebungslärm.nrw.de, letzter Zugriff 20.12.2012.
- Reed, C. (Hrsg.) (2007): KML 2.1 Reference. OGC Best Practice Document, Version 0.0.9, OGC Doc No. 07-039r1, Open Geospatial Consortium, 2007.
- Schilling, A., Hagedorn, B., Coors, V. (Eds.) (2012): OGC 3D Portrayal Interoperability Experiment – Final Report. OGC Doc No. 12-075, Open Geospatial Consortium, 2012.
- Schilling, A., Kolbe, T.H. (Hrsg.) (2010): Draft for Candidate OpenGIS® Web 3D Service Interface Standard, Version 0.4.0, OGC Doc No. 09-104r1, Open Geospatial Consortium, 2010.
- SenGUV (Hrsg.) (2012): Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz – Öffentlichkeitsarbeit. 10 Jahre Umweltentlastungsprogramm Berlin (UEP), 2011. URL: www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltentlastungsprogramm, letzter Zugriff 12.12.2012.
- SIG3D (2012a): Offizielle Internetpräsenz der Special Interest Group der Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE). URL: www.sig3d.org, letzter Zugriff 7.6.2012.
- SIG3D (2012b): Modellierungshandbuch. URL: <http://wiki.quality.sig3d.org>, letzter Zugriff 17.12.2012.
- Vretanos, P. A. (Hrsg.) (2010): OpenGIS Web Feature Service 2.0 Interface Standard. OGC Implementation Standard, Version 2.0.0, OGC Doc No. 09-025r1, Open Geospatial Consortium, 2010.
- Warmer, J., Kleppe, A. (2013): The Object Constraint Language: Getting Your Models Ready for MDA (2nd Edition), Addison-Wesley Professional, 2003.
- W3C (2012): XML Schema 1.1. URL: www.w3.org/XML/Schema.html, letzter Zugriff 17.12.2012.
- Wilson, T. (Hrsg.) (2008): OGC®KML Encoding Standard, Version 2.2.0, OGC Doc No. 07-147r2, Open Geospatial Consortium, 2008.

Anschrift der Autoren

Prof. Dr.-Ing. Marc-O. Löwner
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, TU Braunschweig
Postfach 3329, 38023 Braunschweig
m-o.loewner@tu-bs.de

Dr.-Ing. Egbert Casper
Zerna Group GmbH
Lise-Meitner-Allee 11, 44801 Bochum
cas@zerna.eu

Dr.-Ing. Joachim Benner | Dipl.-Ing. Karl-Heinz Häfele
Institut f. Angewandte Informatik, Karlsruher Institut f. Technologie (KIT)
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe
joachim.benner@kit.edu | karl-heinz.haefele@kit.edu

Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Gerhard Gröger
Institut für Geodäsie und Geoinformation, Universität Bonn
Meckenheimer Allee 172, 53115 Bonn
groeger@igg.uni-bonn.de

Dipl. Ing. Ulrich Gruber | Dipl. Ing. Sandra Schlueter
Fachdienst 62 – Kataster und Geoinformation, Kreis Recklinghausen
Kurt-Schumacher-Allee 1, 45657 Recklinghausen
ulrich.gruber@kreis-recklinghausen.de
sandra.schlueter@kreis-recklinghausen.de

Dipl.-Ing. Thomas Becker
Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik, TU Berlin
Straße des 17. Juni 152, 10623 Berlin
thomas.becker@tu-berlin.de

M.Sc. Robert Kaden
Lehrstuhl für Geoinformatik, TU München
Arcisstraße 21, 80333 München
robert.kaden@tum.de