

Aktuelle Trends in der Entwicklung von CityGML3.0

MARC-O. LÖWNER¹, JOACHIM BENNER², GERHARD GRÖGER³

Zusammenfassung: CityGML ist als internationaler Standard zur Repräsentation und den Austausch virtueller, geometrisch semantischer 3D-Stadtmodelle akzeptiert. Für die Version 3.0 deuten sich erhebliche Änderungen an, die sich an 19 Arbeitspaketen der CityGML Special Working Group manifestieren.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über aktuell geplante Neuerungen der Version 3.0. Ziel ist es, die Akzeptanz des Standards weiter zu erhöhen und Diskussionen über vorgeschlagene Änderungen zu ermöglichen. Die wichtigsten aktuellen Diskussionen betreffen eine Neudefinition des Level of Detail Konzeptes (LoD), die Anpassungen alter und Einführung neuer Module sowie eine Harmonisierung mit den benachbarten Standards der Industry Foundation Classes (IFC) und INSPIRE. Die nächste Version wird konform zu den Normen des ISO TC211 sein. Die CityGML XML-Schemata werden automatisch aus dem konzeptionellen UML-Modell abgeleitet werden können.

1 CityGML 2.0 – ein akzeptierter Standard für virtuelle 3D Stadtmodelle

CityGML2.0 (Gröger et al. 2012) ist als internationaler Standard des Open Geospatial Consortium (OGC) zur Repräsentation und für den Austausch virtueller, geometrisch semantischer 3D-Stadtmodelle weitgehend akzeptiert. War der Migrationsaufwand für Instanzdokumente der Version 1.0 in die Version 2.0 noch minimal (Löwner et al. 2012), deuten sich in der Weiterentwicklung zur Version 3.0 weitreichende Änderungen an, die sich an 19 aktuellen Arbeitspaketen der CityGML Special Working Group manifestieren (CITYGMLSWG 2012).

CityGML geht auf das Jahr 2002 zurück, seit dem es innerhalb der Special Interest Group 3D, einem Arbeitskreis der Initiative Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE) weiterentwickelt wird. Erste Modellkonzepte des Basis- und Gebäudemodells wurden von Gröger et al. (2005) veröffentlicht. Im Zuge der Zusammenarbeit mit der European Spatial Data Research (EuroSDR) wurde CityGML im Juni 2006 als Candidate OpenGIS Implementation Specification in das Open Geospatial Consortium (OGC) eingebracht und im Juli 2007 in der Version 0.4.0 (Gröger et al. 2007) als Best Practice Paper akzeptiert. Schon in dieser Version weist CityGML das Konzept der Application Domain Extensions (ADE) (engl.: Fachschalenerweiterung) auf. Hiermit ist es möglich, auf CityGML basierende, erweiterte Modelle zu spezifizieren. Am 20. August 2008 wurde CityGML in der Version 1.0.0 (Gröger et al. 2008) von den Mitgliedern des OGC als offizieller Standard angenommen. Die entscheidenden Veränderungen gegenüber der Version 0.4.0 war eine vertikale Modularisierung durch die Einführung von 12 XML-Namensräumen. In

1) Marc-O. Löwner, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Technische Universität Braunschweig, Pockelsstraße 3, 38106 Braunschweig; E-Mail: m-o.loewner@tu-bs.de

2) Joachim Benner, Institut für Angewandte Informatik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Postfach 3640, 76021 Karlsruhe; E-Mail: joachim.benner@kit.edu.

3) Gerhard Gröger, Institut für Geodäsie und Geoinformation, Universität Bonn, Meckenheimer Allee 172, 53115 Bonn; E-Mail: groeger@igg.uni-bonn.de

der Folge müssen Applikationen nicht den gesamten Standard unterstützen, sondern nur einzelne Module. CityGML 2.0 wurde schließlich am 14. März 2012 nach 14-monatiger Bearbeitung von Änderungsanfragen durch die SIG 3D von den Mitgliedern des OGC als neuer Standard für virtuelle 3D-Stadtmodelle veröffentlicht (Gröger et al. 2012).

Trotz der Erweiterungen war der Migrationsaufwand für existierende Modelle minimal. Instanzdokumente der Version 1.0 sind bei entsprechenden Namensraumangaben und einer angepassten Verlinkung auf das Schema der Version 2.0 valide Dokumente dieser Version. Die jetzt geplanten Weiterentwicklungen von zur Version 3.0 werden weitreichender sein und eine einfache Überführung von Instanzmodellen der Version 2.0 in die der Version 3.0 durch solch einfache Mechanismen nicht ermöglichen.

Dieser Beitrag soll einen Überblick über die aktuellen Trends in der Entwicklung von CityGML3.0 geben und die zurzeit noch nicht beschlossenen aber geplanten Änderungen präsentieren. Ziel ist es, die Akzeptanz des Standards weiter zu erhöhen und Diskussionen über vorgeschlagene Änderungsbestrebungen zu ermöglichen. Die wichtigsten aktuellen Diskussionen betreffen eine Neudefinition des Level of Detail Konzeptes (LoD). Hier reichen die Vorschläge von einer wesentlich exakteren Definition (BENNER ET AL. 2013, LÖWNER ET AL. 2013A) bis hin zu einer weiteren Vereinfachung (Kap. 3). Des Weiteren wird die Harmonisierung mit den benachbarten Standards der Industry Foundation Classes (IFC) und INSPIRE diskutiert (Kap. 4). Auf technische Ebene wird die nächste Version des Standards konform zu den Normen des ISO TC211 sein. Die CityGML XML-Schemata werden automatisch, unter Verwendung der in ISO 19136 definierten Abbildungsregeln, aus dem konzeptionellen UML-Modell abgeleitet werden. Als Folge ist die Trennung der konzeptionellen Modellierung vom GML-Encoding geplant (Kap. 5).

2 Überblick über die angedachten Verbesserungen

CityGML 3.0 soll gegenüber seiner Vorversion nicht nur um weitere thematische Module erweitert werden, wie dies von der Version 1.0 zu 2.0 mit dem *tunnel* und dem *bridge* Modul der Fall war. Vielmehr sollen auch technische Probleme und Inkonsistenzen der Vorgängerversion stärker in den Fokus des Updates rücken. So wird bspw. diskutiert, ob Geometrieobjekte im UML Diagramm als Attribute oder aber als assoziierte geographische Features modelliert werden oder ob dies überhaupt eine relevante Problemstellung ist.

CityGML ist mittlerweile ein weit verbreiteter internationaler Standard des OGC und kann daher nicht ohne Beteiligung der Anwender von CityGML weiter entwickelt werden. Daher hat sich die CityGML Special Working Group (CityGMLSWG) entschlossen die Diskussion um die Weiterentwicklung öffentlich zu gestalten. Hierfür wurde das Projekt CityGML-3.0 auf einem webbasierten Hosting-Dienst für Software-Entwicklungsprojekte, dem GitHub unter <https://github.com/3DXScape/CityGML-3.0/> angelegt. Auf dieser kooperativen Plattform ist es nun möglich, die Weiterentwicklung nachzuvollziehen und sich selbst zu beteiligen. Die wichtigste Information betrifft die zurzeit aktuellen Arbeitspakete zur Verbesserung von CityGML. Neben dem Thema sind hier die verantwortlichen Institutionen und die beteiligten Partner zu ersehen, wie sie am 03. Dezember beim Treffen der CityGMLSWG in Mumbai beschlossen wurden (<https://github.com/3DXScape/CityGML->

3.0/blob/master/Docs/FinalWPMumbai_r01.docx). Aus unserer Sicht sind die folgenden Arbeitspakete für die Weiterentwicklung von besonderem Interesse:

- Neugestaltung des Level of Detail Konzeptes für die Version 3.0. Kritik an dem bestehendem Modell kann z. T. aus den Reihen der Datenanbieter, der Anwender aber auch aus der SIG 3D selbst. Die Entwicklung des neuen Konzeptes steht im Spannungsfeld, formal konsistent sein zu müssen und gleichzeitig die Übertragbarkeit der Instanzmodelle der Version 2.0 zu ermöglichen (vgl. Kap. 3).
- Harmonisierung von CityGML 3.0 mit den benachbarten Standards von IfC und INSPIRE. Hier ist allerdings noch unklar, ob eine Inklusion sinnvoll ist und inwieweit es nicht auch parallele Standards für unterschiedliche Anwendungsfälle geben kann (vgl. Kap. 4).
- Entwicklung eines ISO-konformen konzeptionellen UML-Modells für die Version 3.0 mit dem Ziel, Ableitungen in eine XML Schema automatisch durchführen zu können (vgl. Kap. 5).

Darüber hinaus stehen die Entwicklung eines Moduls für Infrastrukturen, die sich inhaltlich nur schwer als ein Gebäude im klassischen Sinne modellieren lassen, also etwa Industrieanlagen sowie die Einführung einer Baumaterialklasse auf der Agenda. Ebenso ist die Integration der weithin erprobten UtilityNetworkADE zur Unterstützung der Analyse von Versorgungsnetzen geplant.

Die gegenwärtige Planung der Umsetzung dieser Arbeitspakete ist neben deren endgültigen Definition am 31.01.2014 (nach Einsendung dieses Artikels), dass die inhaltlichen Arbeiten an diesen Paketen etwa im März 2015 abgeschlossen sein sollen. Die endgültige Dokumentation und die GML-basierte Implementierung sollen dann bis zum September 2015 abgeschlossen und durch die OGC im März 2016, also vier Jahre nach der Veröffentlichung von CityGML 2.0 herausgegeben werden.

3 Ein verbessertes LoD-Konzept für CityGML 3.0

Das Konzept verschiedener Detaillierungsstufen, den Levels of Detail (LoD), ermöglicht es, neben einer hochwertigen Repräsentation einzelner Gebäude und deren Inneres, auch ganze Städte, Regionen oder Länder zu modellieren. Es wurde in einer frühen Phase des heutigen Standards entwickelt und von GRÖGER ET AL. (2005) veröffentlicht, bevor es durch die Verabschiedung des CityGML 4.0.0 best practice papers 2007 (GRÖGER ET AL. 2007) einer größeren Gemeinde zugänglich gemacht werden konnte. Es war also wenig Erfahrung mit umfassenden Datensätzen und Anforderungen an ein umfassendes LoD-Konzept vorhanden. Dies ist der Grund, warum das derzeitige LoD-Konzept Mängel aufweist, die in CityGML der Version 3.0 behoben werden sollen.

3.1 Mängel des derzeitigen LoD-Konzeptes

Ein wesentlicher Mangel des derzeitigen LoD-Konzeptes ergibt sich durch die teils unreflektierte Übertragung des vornehmlich für das *Building* Modul entwickelten LoD-Konzept auf andere thematische Module. Im Wesentlichen lässt sich feststellen, dass eine solche Übertragung nach BENNER ET AL. (2013) nur sinnvoll ist, wenn die entsprechenden Module

- geometrisch überhaupt in verschiedenen LoD repräsentiert werden können (als 2D- oder 2.5D-Fläche, als dreidimensionaler Extrusionskörper oder als dreidimensionale Geometrie mit verschiedenen geometrischen Genauigkeiten,
- eine hierarchische Struktur besitzen, die sie als komplexe Objekte in kleinere Teile zerlegen lässt, und
- sie eine relevante innere Struktur, also unabhängige Objekte oder Geometrien aufweisen.

Diese Eigenschaften sind streng genommen nur für die Module *Building*, *Bridge* und *Tunnel* gegeben und werden es in der Version 3.0 für das neu einzuführende Modul für weitere Infrastrukturen sein. Besonders augenfällig wird eine fehlerhafte Übertragung des LoD-Konzeptes bei den Modulen *Waterbody* und *CityFurniture*. Hier ermöglichte der LoD4 die fragwürdige Modellierung von Fischen in Seen und Glühbirnen in Straßenlaternen.

Weitere Nachteile des jetzigen LoD-Konzeptes ergeben sich durch die Kopplung der Semantik an die Geometrie. Die geometrische Auflösung und Genauigkeit nimmt in den LoD2 - LoD4 zu, zusätzlich kann sich auch die semantische Differenzierung erhöhen. Folglich können im LoD2 12 zulässige Varianten eines Gebäudes repräsentiert werden, wenn man die Option der Texturierung mit berücksichtigt. Im LoD3 erhöht sich diese Anzahl sogar auf 20. Trotz dieser Vielfältigkeit lassen sich beispielsweise keine Gebäude im LoD2 repräsentieren, die den Flächenanteil von Fenstern enthalten, da diese erst in der geometrischen Auflösung des LoD3 modelliert werden können. Dies wäre allerdings für die Abschätzung des Energie- und Sanierungsbedarfes eines Gebäudes von großem Interesse.

Die größte Einschränkung ergibt sich derzeit durch die Kopplung der inneren Repräsentation an die äußere Hülle im LoD4. Dies hat zur Folge, dass zum einen innere Gebäudeteile erst repräsentiert werden können, wenn die äußere Hülle im höchsten LoD vorliegt und dass es zum anderen nur einen LoD für Innenräume und deren Features gibt. Dadurch ist CityGML nicht in der Lage Anwendungen zu unterstützen, die Innenraumrepräsentationen ohne eine exakte äußere Hülle benötigen, wie Energiebedarfsanalysen und Evakuierungsmodellierung. Zudem wird die Komplexität des Datenmodells unnötig erhöht, da sich LoD3 und LoD4 nur durch das Vorhandensein von inneren Strukturen unterscheiden.

3.2 Mögliche Neuerungen des LoD-Konzeptes

Das oben kritisierte LoD-Konzept für die CityGML der Version 3.0 soll unter Leitung der SIG 3D und unter Beteiligung der TU München, der TU Delft und des Ordnance Survey of Great Britain überarbeitet und verbessert werden. Hierbei bietet sich zum einen die Chance, das LoD-Konzept zu einer umfassenden Metadateninformation mit zusätzlichen Anwendungsmöglichkeiten weiter zu entwickeln. Zum anderen besteht die Gefahr, die weitere Verwendung des Standards durch Nichtakzeptanz der bisherigen Nutzer zu gefährden. Entsprechend reichen die derzeitigen Vorschläge von einer strikten Vereinfachung des derzeitigen Konzeptes bis hin zu einer Weiterentwicklung mit weitaus mehr LoD als zurzeit.

Einen pragmatischen Ansatz liefert NAGEL (2013). Demzufolge wären der LoD0 für planare Repräsentationen und der LoD1 für Blockrepräsentationen von Features vorgesehen. LoD2 würde für eine generalisierte und der LoD3 für eine detaillierte Repräsentation von City Features verwendet werden. Im Gegensatz zum bisherigen Standard sieht der Vorschlag vor, dass alle

CityGML Feature in diesen vier LOD-Stufen repräsentiert werden können. Damit würde eine Unterscheidung in Außen und Innen überflüssig und der LoD4 könnte aufgehoben werden. Eine Entscheidung wie die verschiedenen LoD-Stufen miteinander kombiniert werden können, soll demnach nicht innerhalb des CityGML Standards geregelt werden, sondern innerhalb der Anwendung. Dieser Vorschlag berücksichtigt darüber hinaus keine Trennung zwischen Geometrie und Semantik.

Einen elaborierten Vorschlag machen BENNER ET AL. (2013) sowie LÖWNER ET AL. (2013A). Dieser sieht neben einer Verringerung der Anzahl der LoD von 5 auf 4 insbesondere eine Trennung des geometrischen vom semantischen LoD sowie die Trennung von Innen und Außen vor. Der geometrische Teil des LoD-Konzepts differenziert dabei weiterhin die geometrische Exaktheit eines modellierten Objektes gegenüber dem Realwelt-Objekt und ist vergleichbar mit dem von NAGEL (2013) skizzierten Vorschlag. Auch hier kann durch die generelle Trennung von Innen und Außen der LoD4 entfallen, der in Abschnitt 3.1 entsprechend kritisiert wurde.

Neben der Geometrie wird von BENNER ET AL. (2013) ein separater semantischer LoD eingeführt, was auch der Vorgabe des OGC zur Trennung zwischen Geometrie und Semantik entspricht (vgl. KOTTMAN, 1999). Der semantische Teil gibt an, wie umfangreich sich die semantische Struktur eines Realwelt-objektes im modellierten Feature ausdrückt. Neben der Geometrie beschreibt er die semantische Tiefe eines Objektes, also ob eine *BoundarySurface* einen Typ und weitere Attribute hat oder ob sie nur eine Geometrie ist. Der semantische LoD0 steht für Geometrien, in welcher geometrischen Detailliertheit auch immer, die semantisch nicht weiter differenzierbar sind, wohingegen der semantische LoD1 angibt, dass die begrenzenden Flächen (*AbstractBoundarySurfaces*) weiter spezialisiert worden sind. Der semantische LoD2 lässt darüber hinaus Gebäudeinstallationen (*BuildingInstallations*) zu. Öffnungen, wie Türen und Fenster treten im LoD3 hinzu.

BENNER ET AL. (2013) schlagen diese differenzierte Betrachtung der geometrischen und semantischen LoD sowohl für die Betrachtung der äußeren Hülle als auch für das Innere vor. Dadurch ergeben sich Möglichkeiten, das Innere wesentlich detaillierter zu modellieren als das Äußere, was etwa für Anwendungen der Innenraumnavigation oder des Katastrophenschutzes von Vorteil ist (vgl. Löwner et al. 2013B). Insgesamt ergeben sich dadurch 120 LoD-Kombinationen für die Repräsentation eines Gebäudes. Durch eine geschickte Namensregelung lassen sich allerdings alle bekannten Vorstellungen des LoD-Konzeptes leicht auf die neue Nomenklatur abbilden. Damit berücksichtigt das Konzept vor allem die folgenden Punkte:

- Alle jetzt korrekten CityGML 2.0 Modelle sind in das neue Konzept überführbar,
- die Migration bestehender Datensätze sind durch einfache syntaktische Transformationen und ohne die Anwendung komplexer geometrischer Algorithmen möglich und
- mit Ausnahme des LoD4 kann die bestehende LoD-Klassifikation weiterhin für eine grobe geometrische Konformitätsbeschreibung zwischen Realwelt-objekt und Modell verwendet werden.

4 Harmonisierung mit benachbarten Standards

4.1 Harmonisierung mit den Industry Foundation Classes

Einer der Vorschläge zur Weiterentwicklung des CityGML Datenmodells für Gebäude (*Building Modul*) zielt auf eine Harmonisierung von CityGML mit dem Building Information Model *IFC*

(*Industry Foundation Classes*, BUILDINGSMART, 2014), um Transformation zwischen diesen beiden Datenmodellen zu erleichtern. Ob eine möglichst vollständige Modelltransformation tatsächlich notwendig und sinnvoll ist und es auf Seiten von CAD- oder GIS Applikationen dafür einen Bedarf gibt, ist allerdings noch ungeklärt und kann an dieser Stelle nicht abschließend diskutiert werden. Das IFC-Modell konzentriert sich im Wesentlichen auf Gebäude, berücksichtigt hier aber sämtliche Aspekte des Gebäude-Lebenszyklus (Planung, Bau und Betrieb). Alle diese Aspekte in CityGML zu übernehmen ist sinnlos und würde den GIS-Standard völlig überfrachten.

Beschränkt man den Begriff der „Harmonisierung“ darauf, die bisher schon in CityGML repräsentierten Teile eines Gebäudes wie Räume, Wände, Dächer oder Fußböden einfacher aus einem IFC-Datensatz in CityGML transformieren zu können, ist der Erweiterungsbedarf überschaubarer. Da die vorhandenen Klassen für CityGML *BoundarySurfaces* nur die Oberfläche von Bauelementen wie Wände (*WallSurface* und *InteriorWallSurface*), Dächer (*RoofSurface*) oder Fußböden (*FloorSurface* und *CeilingSurface*) geometrisch und semantisch repräsentieren, muss CityGML um Klassen für eine volumetrische Repräsentation dieser Bauelemente (z.B. *Wall*, *Roof*, *Slab*) ergänzt werden. Die neuen Klassen zur Repräsentation volumetrischer Bauelemente müssen dann über Relationen mit den vorhandenen *BoundarySurface* Klassen verbunden werden. Das heißt insbesondere, dass die aktuell getrennten Repräsentationen von äußeren und inneren Wandoberflächen einem physikalischen Wandobjekt zugeordnet werden müssen. Abschließend müsste die CityGML Modellierung im Bereich von Öffnungen in Bauelementen (*Door* und *Window*) geändert und erweitert werden, da in IFC die Öffnung mit dem Bauelement *IFCOPENINGELEMENT* „herausgeschnitten“ werden muss und dann die Öffnung mit den Bauelementen *IFCWINDOW* oder *IFCDOOR* „gefüllt“ wird.

Ein weiterer zentraler Unterschied zwischen CityGML und IFC, der nur durch eine Erweiterung des GML Basisstandards überbrückt werden kann, liegt in den unterstützten Geometrie-Repräsentationen. In GML werden Volumina derzeit ausschließlich explizit durch Repräsentationen der Oberfläche repräsentiert. IFC unterstützt diese Darstellung auch, viel häufiger werden volumetrische Objekte aber parametrisch oder mit Hilfe von „*Constructive Solid Geometry, CSG*“ repräsentiert. Beim Übergang von IFC nach CityGML ist dies kein größeres technisches Problem. Wenn aber ein CityGML Modell nach IFC zurück transformiert werden soll, ist eine Rekonstruktion der parametrischen Ausgangsgeometrie normalerweise nicht möglich, was die Verwendung solcher Modelle, insbesondere ihre Veränderung in Standard CAD-Systemen stark einschränkt.

4.2 Harmonisierung mit dem INSPIRE-Gebäudemodell

Das Gebäudemodell der Initiative INSPIRE (INSPIRE THEMATIC WORKING GROUP ON BUILDINGS, 2013) wurde stark vom CityGML-Gebäudemodell beeinflusst. Das normative *Core 3D*-Profil des INSPIRE-Gebäudemodells nutzt von CityGML im Wesentlichen die Gebäude – Gebäudeteil-Struktur, die geometrischen Repräsentationen in den LoD 1 bis 3 sowie einige Attribute, z.B. die Externe Referenz. Metadaten wie z.B. die Angabe, wie die Höhe einer LoD1-Repräsentation zu interpretieren ist, fügt das INSPIRE-Modell hinzu, CityGML jedoch nicht. Das erweiterte 3D Profil (*Extended 3D*) des INSPIRE-Gebäudemodells ist nahezu identisch zu dem CityGML Gebäudemodell mit seinen Begrenzungsflächen, Öffnungen, Installationen und Räumen in den LoD1 bis 4. Dieses Profil definiert auch eine Klasse für Bauwerke, die keine

Gebäude sind. CityGML bietet eine solche nicht-abstrakte Klasse nicht, nur deren Spezialisierungen *Brücken* und *Tunnel* sind enthalten, wobei eine Entsprechende Erweiterung in CityGML der Version 3.0 angedacht ist. Das *Extended 3D*-Profil bietet eine Vielzahl von Attributen aus dem amtlichen Bereich (z.B. der amtliche Wert und die amtliche Fläche) und für Anwendungen mit Energiebezug (etwa die Art der Heizung und Angaben über den Anschluss an das Gasnetz), die in CityGML nicht vorhanden sind. INSPIRE beruht auf GML 3.2, CityGML dagegen auf GML 3.1.

In der aktuellen Version 2.0 von CityGML erfolgt die Harmonisierung mit INSPIRE über zwei ADEs für das *Core 3D*- und das *Extended 3D*-Profil. Beide ADEs fügen die Attribute, die über CityGML hinausgehen, einem CityGML-Gebäude über den sogenannten *Einhak-Mechanismus* (engl.: *hook mechanism*) hinzu. Für die Version 3.0 von CityGML ist dagegen eine tiefere Angleichung beider Modelle geplant. Die Anpassung der GML-Versionen ist Voraussetzung für die automatische Ableitung der XML-Schemata und bereits beschlossen. Die Übernahme der Metadaten von INSPIRE für das CityGML-Gebäudemodell, die bereits auf dem Workshop in München im Mai 2013 diskutiert wurde, wird derzeit umgesetzt. Hier ist zu erwarten, dass diese Erweiterung auf Zustimmung stößt. Kontrovers diskutiert wird dagegen die Erweiterung des Gebäudemodells um einen reichhaltigen Vorrat an Attributen, die von relevanten Anwendungen benötigt werden. Hierunter fallen auch die INSPIRE-Attribute des *Extended 3D*-Profils, die sich auf amtliche Festlegungen und energierelevante Angaben beziehen. Eine Position hierbei ist, wie bisher das Gebäudemodell (und auch andere Modelle) von CityGML möglichst schlank zu halten und attributive Erweiterungen in ADEs von Experten im jeweiligen Fachbereich entwickeln zu lassen. Die gegensätzliche Meinung ist, analog zum Vorgehen in der IFC (vgl. Kap. 4.1) alle Attribute im Standard CityGML, ggf. modular strukturiert, zu definieren, so dass CityGML z.B. eine „Obermenge“ des INSPIRE-Gebäudemodells wäre. Die Interoperabilität auf der Ebene der Attribute wäre bei dieser Vorgehensweise sicher gestellt, es müsste jedoch beim Entwurf von 3.0 externe Expertise eingeholt werden, um die Attribute geeignet definieren zu können.

5 Trennung von konzeptioneller Modellierung und GML-Encoding

Bis zur Version 2.0 stand bei der Entwicklung des CityGML Datenmodells das XML-Schema im Vordergrund. Die insgesamt 13 Schema-Dateien wurden mit Unterstützung von XML-Autorenwerkzeugen „von Hand“ generiert. In den Spezifikationsdokumenten aller existierenden CityGML Versionen finden sich jeweils drei unterschiedliche Repräsentationen des Datenmodells:

- als Listing der XML-Schemata,
- in Form von UML-Diagrammen, und
- als eine über verschiedene Kapitel der Spezifikation verteilte und unstrukturierte Beschreibung von Konzepten und Definitionen von Klassen, Attributen und Relationen des Datenmodells.

Die bisherige Vorgehensweise bei der Generierung der Spezifikation hat gravierende Nachteile. Da die Komplexität des CityGML Datenmodells mit jeder neuen Version angewachsen ist und dies weiter tun wird, hat es sich als immer zeitaufwändiger erwiesen, ohne Unterstützung durch geeignete Softwarewerkzeuge die Konsistenz der drei verschiedenen Repräsentationen innerhalb der Spezifikation sicherzustellen. Gleichzeitig wird der Mangel einer weiteren Repräsentation

des Modells in Form eines *Objektartenkatalogs*, der in strukturierter Art und Weise die Definitionen von Klassen, Attributen und Relationen dokumentiert, immer deutlicher.

Es ist aus unserer Sicht daher unstrittig, dass bei der Entwicklung der nächsten CityGML Version das Paradigma der *Modellgetriebenen Architektur* (engl. *Model Driven Architecture, MDA*) (ANDRESEN 2004) zur Anwendung kommt. Die primäre Repräsentation des neuen CityGML Datenmodells wird ein konzeptionelles Modell in Form von UML-Klassendiagrammen sein. Dieses Modell wird mit dem UML-Werkzeug *EnterpriseArchitect* generiert, wobei das UML-Profil der ISO 191xx Normen verwendet wird. Alle weiteren Repräsentationen des Datenmodells werden dann mit Softwarewerkzeugen aus dem konzeptionellen Modell abgeleitet, was die Konsistenz der verschiedenen Repräsentationen automatisch sicherstellt. Zu den abgeleiteten Repräsentationen werden auf jeden Fall ein GML-Anwendungsschema sowie ein Objektartenkatalog gehören. Eventuell werden auch noch weitere Repräsentationen, wie Datenbank-Schemata oder GeoJSON betrachtet, die aber nicht zum normativen Kern des Standards gehören werden.

Die Regeln für die Transformation von ISO 191xx konformen UML in ein GML-Anwendungsschema sind in der ISO 19136 Norm definiert und können von verschiedenen Softwareprodukten umgesetzt werden. Standardisierte Regeln für die automatische Ableitung eines Objektartenkatalogs oder anderer Darstellungen existieren noch nicht. Weiterhin ist noch ungeklärt, ob der Objektartenkatalog als statisches (z.B. pdf-) Dokument oder wie beim XPlanung-Standard in Form verlinkter HTML-Dokumente (XPLANUNGWIKI, 2013) erzeugt wird.

6 Diskussion und Ausblick

In diesem Beitrag wurden die aktuellen Trends und Entwicklungen in der Weiterführung des internationalen Standards CityGML zur Version 3.0 vorgestellt. Die Internationalität und die weite Verbreitung von CityGML als Standard des Open Geospatial Consortiums führen dazu, dass diese Weiterentwicklung nun unter Beteiligung internationaler Gruppen und öffentlich diskutiert wird. Eine Folge davon ist, dass sich bereits in frühen Phasen der Entwicklung von Neuerungen mehr Beteiligte zu Wort melden, was zum einen die Diskussion erschweren kann. Zum anderen ist aber gerade die Akzeptanz der Weiterentwicklungen für einen Standard essentiell, so dass Anregungen eine dementsprechende Entwicklung auch positiv beeinflussen können.

Weitere Änderungen und Entwicklungen von CityGML können im direkten Kontakt zur SIG 3D oder unter Berücksichtigung des auf der Plattform GitHub veröffentlichten Fortschritts weiter verfolgt und auch kommentiert werden.

7 Literaturverzeichnis - Überschrift Ebene 1

ANDRESEN, A., 2004: Komponentenbasierte Softwareentwicklung mit MDA, UML und XML. 2 Auflage, Hanser Fachbuch.

- BENNER, J., GEIGER, A., GRÖGER, G., HÄFELE, K.-H., & LÖWNER, M.-O., 2013: Enhanced LoD concepts for virtual 3D city models, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., II-2/W1, S. 51-61.
- BUILDINGSMART, 2014: Industry Foundation Classes – IFC, <http://www.buildingsmart.org/standards/ifc>, zuletzt besucht 24.01.2014.
- CITYGMLSWG, 2012: Internetseite der CityGML Special Working Group des Open Geospatial Consortiums, <https://portal.opengeospatial.org/CITYGMLswg/WebHome>, zuletzt besucht am 15.01.2014.
- INSPIRE THEMATIC WORKING GROUP ON BUILDINGS, 2013: Data Specification on Buildings – Technical Guidelines, Identifier D2.8.III.2_v3.0, European Commission Joint Research Center, http://inspire.jrc.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_BU_v3.0.pdf, zuletzt besucht am 24.01.2014.
- GRÖGER, G., BENNER, J., DÖRSCHLAG, D., DREES, R., GRUBER, U., LEINEMANN, K., LÖWNER, M.-O., 2005: Das interoperable 3D Stadtmodell der SIG 3D. Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 6/2005, S. 343-353.
- GRÖGER, G., KOLBE, T. H., CZERWINSKI, A., (Hrsg.): OGC City Geography Markup Language (CityGML). OGC Best Practices Document, Version 0.4.0, OGC 07-062, 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.
- KOTTMAN, C. (Hrsg.): The OpenGIS Abstract Specification. Topic 8: Relationships between Features. OpenGIS Project Doc No. 99-108r2, OGC, 1999.
- 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, S. 340-349.
- LÖWNER, M.-O., BENNER, J., GRÖGER, G., HÄFELE, K.-H., 2013A: New Concepts for Structuring 3D City Models - an Extended Level of Detail Concept for CityGML Buildings. In: Murgante, B., Misra, S., Carlini, M., Torre, C.M., Nguyen, H-Q; Taniar, D., Apduhan, B.O., Gervasi, O., (Hrsg.): ICCSA 2013, Part III, LNCS 7973, Springer, Heidelberg, S. 466-480.
- LÖWNER, M.-O., CASPER, E., BECKER, T., BENNER, J., GRÖGER, G., GRUBER, U., HÄFELE, K.-H., KADEN, R. & SCHLÜTER, S., 2013B: CityGML 2.0 - ein internationaler Standard für 3D-Stadtmodelle, Teil 2: CityGML in der Praxis. Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 2/2013, S. 31-143.
- NAGEL, C., 2013: Elektropostalische Nachricht an die SIG 3D am 18.10.2013.
- XPLANUNGSWIKI, 2013: <http://www.xplanungwiki.de/upload/XPlanGML/4.1-Kernmodell/Objektartenkatalog/>, zuletzt besucht 24.01.2014.