

# ISO/OGC-konforme Datenbanktechnologien als Basis für Simulationssysteme

Rene Thiele

CPA Systems GmbH

**Abstract.** Beim Aufbau von Datenbanken für raumbezogene Simulationssysteme erlangt die Verfügbarkeit von hoch- und höchstauflösenden Geoinformationen eine immer größere Bedeutung. Mit der Einführung und Etablierung offener Standards zur Beschreibung von Geobasisdaten durch die ISO Normenfamilie 19100 sowie dem OGC<sup>®1</sup> wird dieser Trend noch verstärkt. Für die Anwendungsgebiete von Simulationssystemen sind dabei insbesondere die Spezifikationen GML<sup>2</sup> und CityGML zur Beschreibung und zum Austausch von 2D/3D-Vektordaten von Bedeutung. Der Mehrwert des Einsatzes derartiger Modelle ergibt sich schon aus der Tatsache, dass entsprechende Daten als Katastergrundlage sowie als Landschafts- und Stadtmodelle in großem Umfang bereits erfasst sind. Darüber hinaus sind basierend auf diesen Strukturen Web-Services-Infrastrukturen in sogenannten GDIs<sup>3</sup> definiert, standardisiert und in großen Teilen bereits realisiert. Dabei sind insbesondere auch Konzepte zur Fortführung und Versionierung der Datenbestände erarbeitet.

Der vorliegende Beitrag stellt ein praxistaugliches und -bewährtes Konzept vor, mit dem OGC-konforme Geodatenmodelle unter Verwendung von Datenbanktechnologien hochverfügbar modelliert, verwaltet und in Simulationsumgebungen integriert werden können. Dabei nimmt der Artikel Bezug auf die objektorientierte SGJ-Technologie der Firma CPA-Systems GmbH.

## 1 Einleitung

Die Verfügbarkeit hoch- und höchstauflösender Geoinformationen erhält eine immer größere Bedeutung beim Aufbau von Datenbanken für die Unterstützung und die Versorgung von raumbezogenen Simulationssystemen.

In diesem Kontext und unter besonderer Berücksichtigung des Bedarfs an hochdetaillierten urbanen Gebäude- und Geländedaten sind 3D-Geodaten zu erzeugen und zu verwalten, die eine simulationsfähige und fotorealistiche 3D-Darstellung von Geländedatenbanken erlauben. Eine weitere Anforderung ergeht aus dem Bedarf, die anzustrebende Tagesaktualität urbaner 3D-Geodaten durch die Verwendung geeigneter Fortführungsmethoden einer Spitzenaktualisierung zu unterwerfen. Die zum Einsatz kommenden Verfahren zur Datengewinnung und -fortführung sind zugleich konsistenzhaltend auszulegen, bevor die systemspezifischen Simulationsdatenbanken damit versorgt werden.

Vor diesem Hintergrund sind die 3D-Gebäude- und Topographiedaten sowie die Daten für eine fotorealistiche Modellkonstruktion insbesondere unter dem Aspekt der Zeit- und Kostenersparnis

---

<sup>1</sup>Open Geospatial Consortium

<sup>2</sup>Geography Markup Language

<sup>3</sup>Geodaten-Infrastruktur

für eine Mehrfachnutzung zu erfassen, fortzuführen und nachfolgend abzuleiten. Den angestrebten Mehrwert erhält der Nutzer dabei durch den Einsatz internationaler Normen und Standards für die Modellierung, Erfassung, Fortführung und Verwaltung der für die Simulation benötigten 3D-Geländedatenbasen. Auf der Grundlage ISO/OGC<sup>®</sup>-basierender Lösungsansätze sind die 3D-Geodaten von Landschaften, Städten, Ballungsgebieten und Ländern zu erheben und persistent in objektrelationalen Datenbanken zu administrieren.

Basierend auf der ISO-Normenreihe 19100 sowie dem sich davon ableitenden OGC<sup>®</sup>-konformen CityGML-Datenmodell besteht seit einiger Zeit für den Aufbau von Geländedatenbasen für Simulationssysteme ein internationaler Standard, dessen Verwendung Vorteile hinsichtlich der folgenden Punkte verspricht:

- Die Modellierung der 3D-Daten mit CityGML hat eine weitgehende Systemunabhängigkeit der Inhalte einer Geländedatenbasis zur Folge.
- Die auf der Geländedatenbasis aufsetzenden Fortführungsprozesse können durch die Verwendung OGC-konformer transaktionaler Web Feature Services (WFS-T) in Verbindung mit der Datenaustausch- und Auftragsschnittstelle GML interoperabel gestaltet werden.
- Die ISO/OGC-konforme Erweiterung des CityGML-Datenmodells für die Abbildung weitergehender Anforderungen diverser Simulationssysteme ist uneingeschränkt möglich. Dazu stehen Ansätze wie „Generic Objects“ oder „Application Domain Extension (ADE)“ zur Verfügung.
- Der objektorientierte Modellierungsansatz von CityGML eignet sich insbesondere für die Ableitung von anderen ISO-Standards, z.B. der ISO 19115 Metadaten.
- Durch den normbasierenden Ansatz ist die Portabilität der Daten in andere Umgebungen über einen sehr langen Zeitraum lückenlos gewährleistet. Beliebige Fachinformationen sind aus diesem 3D-Bestand jederzeit in Richtung der Simulationssysteme zielgerichtet ableitbar.

Bei der Verfolgung eines solchen Ansatzes besteht die grundsätzliche Schwierigkeit in der Umsetzung darin, die auf XML basierende Modellierungsstrategie der ISO 19100er Normenreihe für die Anwendung in geeignete Datenbankstrukturen zu überführen und gleichzeitig die für Simulationssysteme erforderliche Zugriffsperformance zu erreichen.

Zu diesem Zweck wurde mit der SGJ-Technologie der Firma CPA Systems GmbH ein Modellierungskonzept entwickelt, das sich im Bereich der 3D-Stadtmodelle bereits in der Praxis bewährt hat.

Die Ideen, die diesem Ansatz zu Grunde liegen sollen im Weiteren skizziert werden.

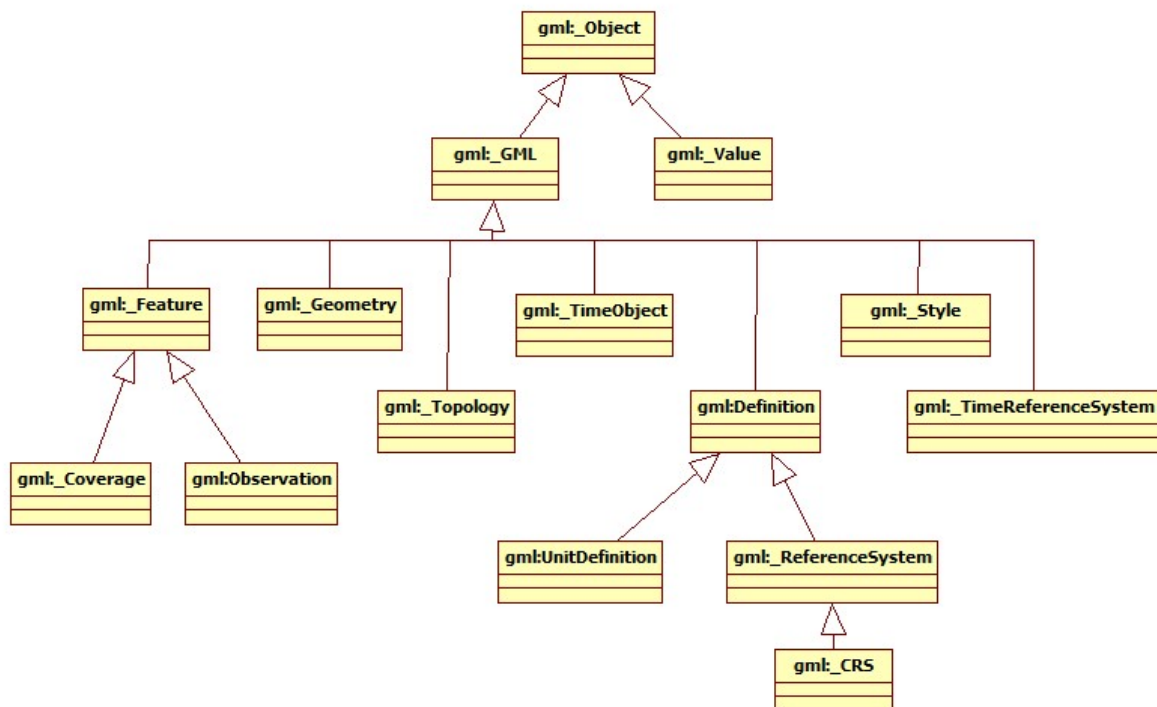
In Abschnitt 2 werden die dem Modellierungsansatz zugrunde liegenden Spezifikationen des Open Geospatial Consortiums (OGC) aufgegriffen und in ihren wesentlichen Konzepten erläutert. Es folgt im Abschnitt 3 eine konzeptionelle Darstellung der Implementierungsstrategie zur Verarbeitung von XML-basierten Modellen in (objekt-)relationalen Datenbanken. Der Aspekt einer tagesaktuellen Fortführung von CityGML-Modellen unter Berücksichtigung einer Objekt-Vollhistorie findet sich in Abschnitt 4. Den Bezug zur Anwendung der dargestellten Strategien im Umfeld von Simulationssystemen stellt Abschnitt 5 her. In der Schlussbetrachtung in Abschnitt 6 werden die Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick auf weitere Entwicklungen gegeben.

## 2 Die OGC<sup>®</sup> Spezifikationen GML und CityGML

Das Open Geospatial Consortium (OGC<sup>®</sup>) ist eine offene Vereinigung von Industrieunternehmen sowie Vertretern aus Wissenschaft und Verwaltung, die es sich zum Ziel gesetzt hat, Implementierungsspezifikationen auf der Grundlage von ISO-Standards des TC211 zu erarbeiten und zu veröffentlichen. Wesentliche Motivation ist die Unterstützung der Entwicklung interoperabler Systeme im Umfeld der raumbezogenen Datenverarbeitung. Die bedeutendsten Spezifikationen des OGC<sup>®</sup> beziehen sich auf die Modellierung von 2- und 3-D Vektorbasisdaten (GML = Geography Markup Language) sowie auf die Modellierung von 3-D Stadtmodellen (CityGML). Darüber hinaus definiert das OGC<sup>®</sup> Web-Services Spezifikationen zum Aufbau von Geodaten-Infrastrukturen. Insbesondere fällt hierunter der WFS<sup>4</sup>, dessen Spezifikation einen auf den W3C-Standards basierenden, einheitlichen und serviceorientierten Zugriff auf Geoobjekte ermöglicht. Insbesondere in der öffentlichen Verwaltung finden die Spezifikationen des OGC<sup>®</sup> breite Anerkennung und finden bei der Umsetzung der INSPIRE-Richtlinie<sup>5</sup>[4] Anwendung.

### 2.1 Geography Markup Language - GML

GML ist ein XML-basiertes Sprachkonzept zur Spezifikation von Austauschformaten und Datenmodellen. Dabei definiert das Basismodell (Abbildung 1) eine Reihe von Klassen und Strukturen, die verwendet als Basisklassen bereits eine gemeinsame Syntax und Semantik zur Beschreibung von raumbezogenen Objekten in zeitlichem Kontext implizieren. Eigenschaften wie die Identifizierbarkeit eines Features oder die Modellierung von geometrischen und topologischen Ausprägungen werden bereits in den Basisklassen einheitlich definiert. So können erweiterte GML-Modelle mit Übertragung einer Schemadatei leicht in andere Anwendungen integriert werden.



**Bild 1:** Abstraktes Basismodell von GML.

<sup>4</sup>Web Feature Service

<sup>5</sup>Infrastructure for Spatial Information in the European Community

Die zentralen Klassen von GML sind

- **Feature:** Realweltobjekt.
- **FeatureCollection:** Menge von Realweltobjekten.
- **Geometry:** Punkt, Linie, Polygon, Solid.
- **Topologie:** Nodes, Edges, Faces.

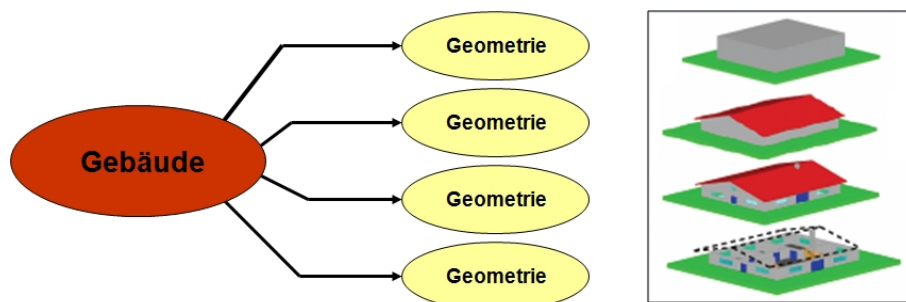
Mit GML können damit beliebig komplexe, raumbezogene Datenmodelle beschrieben werden. Die GML-Spezifikation, die als ISO 19136 in der ISO 19100er Normenreihe veröffentlicht ist, definiert die *Encoding Rules*, nach denen eine einheitliche und automatisierbare Überführung von UML Klassenmodellen in GML-Anwendungsschemata möglich ist. Ein solches Anwendungsschema ist das für die Modellierung 3D-Stadtmodellen konzipierte CityGML, das derzeit in der Version 1.0.0 beim OGC vorliegt.

## 2.2 CityGML

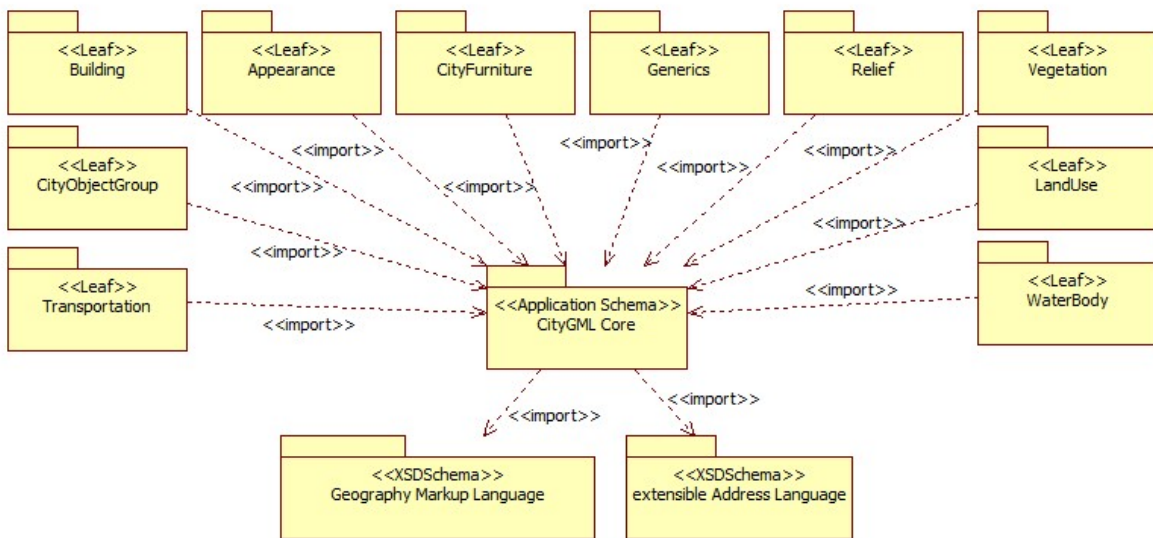
CityGML ist ein GML-basiertes Modell zur Repräsentation der geometrischen, topologischen und semantischen Eigenschaften von 3D-Stadtmodellen sowie deren Erscheinung. Mit der Spezifikation einher geht folglich die Verfügbarkeit eines XML-Anwendungsschemas, das den *Encoding Rules* der ISO 19136 genügt. CityGML als Spezifikation ist das Ergebnis eines Konsensprozesses zwischen Anwendern, Datenproduzenten, GIS-Herstellern und der Wissenschaft und ist als solches seit August 2008 ein Standard des OGC<sup>®</sup>. CityGML strukturiert den zu modellierenden Realweltausschnitt in 5 LODs (*Level of Details*), die (je nach Verfügbarkeit) eine unterschiedliche Auflösung und Detailtiefe eines beschriebenen *Features* repräsentieren.

- LOD 0: Regional-, Geländemodell.
- LOD 1: Klötzchenmodell.
- LOD 2: Texturen, Dachstrukturen.
- LOD 3: Detaillierte Architekturmodelle.
- LOD 4: Innenraummodell.

Entsprechend kann in der Visualisierung eines Modells jeweils das für den Anwendungszweck erforderliche Modell abgerufen werden.



**Bild 2:** CityGML Gebäude in den LODs 1-4.



**Bild 3:** Pakete des CityGML Modells.

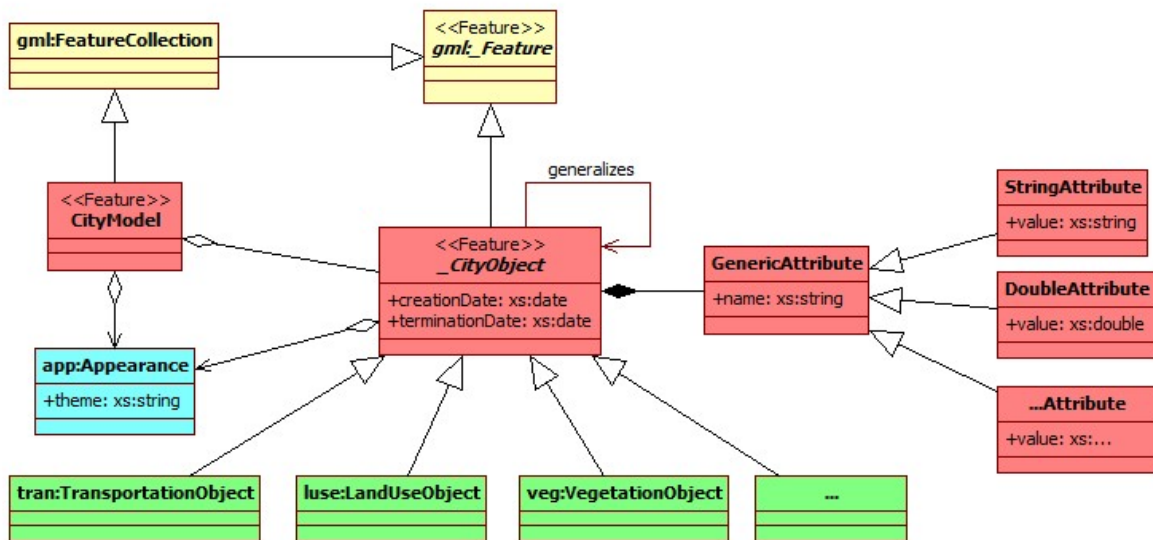
Die Modellierung von CityGML ist in Paketen strukturiert (Abbildung 3). Neben dem *Core*-Paket, das direkt auf GML zugreift und die Basiseigenschaften von City-Objekten und deren geometrischer Ausprägung definiert, sind eine Reihe von thematischen Modellen in eigenen Paketen definiert.

Der Aufbau und die Erweiterungsmöglichkeiten von CityGML-Objekten sind in Abbildung 4 dargestellt. Grundsätzlich ist jedes `_CityObject` ein *GML-Feature*, dem über Vererbung oder dynamische Attribute (`GenericAttribute`) weitere Eigenschaften hinzugefügt werden. Allen City-Objekte gemein ist, dass sie ihr Lebenszeitintervall über die Attribute Entstehungsdatum (`creationDate`) und ggf. ihr Untergangsdatum (`terminationDate`) als direkte Eigenschaften in sich tragen. Durch die Ableitung vom GML Basismodell wird zusätzlich das temporale Schema nach ISO 19108 [5] impliziert, was eine vollständige Versionsverwaltung auf Objekt- und Attributebene ermöglicht. Nicht zuletzt diese Eigenschaft qualifiziert GML-basierte Modelle für den Einsatz in Simulationsumgebungen, da Objekte in Ihrem zeitlichen Verlauf modelliert werden können. Darüber hinaus unterstützen City-Objekte das *Appearance*-Modell, über das einem Objekt eine oder mehrere visuelle Erscheinungen zugewiesen werden, die in Abhängigkeit vom Anwendungskontext abgerufen werden. Im Konkreten kann es sich dabei um unterschiedliche Oberflächentexturen, -muster oder -beschaffenheiten handeln. Thematische Erweiterungen erfahren City-Objekte durch die Vererbung in thematischen Paketen oder durch schematische Erweiterungen des Modellierer. CityGML-Objekte sind über Aggregationen eingebettet in Instanzen der Klasse `CityModel`. Dieses wiederum ist eine Ableitung der GML-Klasse `FeatureCollection`, die ebenfalls ein `Feature` ist.

Die räumliche Modellierung von CityGML greift direkt auf das Geometrie-Modell von GML zu und nutzt dabei insbesondere die 3-dimensionalen Geometrietypen, wie z.B. `gml:_Solid`.

Zur flexiblen Erweiterung des CityGML-Modells bietet die Spezifikation verschiedene Möglichkeiten an, von denen die mächtigsten die Konzepte der *Generic Objects* und der *ADEs* sind:

- *Generic Object*: Die Idee hinter dem Konzept der *Generic Objects* beruht auf der Erwartung, dass in einem konkreten 3D-Modell Objekte beschrieben werden sollen, die über die thematischen Pakete der CityGML-Spezifikation (noch) nicht abgedeckt sind. Um derartige Objekte dennoch erfassen zu können, sollen hierzu Instanzen der Klasse `GenericCityObject` erfasst werden. Die Klasse `GenericCityObject` erbt direkt von der abstrakten Klasse



**Bild 4:** Grundsätzliche Struktur eines CityObjects.

\_CityObject und bietet damit die Möglichkeit, mithilfe der \_GenericAttributes beliebige Objekteigenschaften zu beschreiben.

- *ADE*: ADE= *Application Domain Extensions* bieten die Möglichkeit zur Definition von Fachschalen mithilfe eines festen Schemas. Dazu wird ein den Modellierungsanforderungen genügendes Fachdatenschema durch Vererbung von den CityGML-Basisklassen erzeugt. Auf dieser Basis können dann domänenspezifische Objekte erfasst und verwaltet werden. Durch die Ableitung bleibt auch das erweiterte Schema ein konformes CityGML-Modell. Nachteilig ist aber zu erwähnen, dass ADEs nur von Parsern und Anwendungen interpretiert werden können, die mit der jeweiligen Erweiterung vertraut sind.

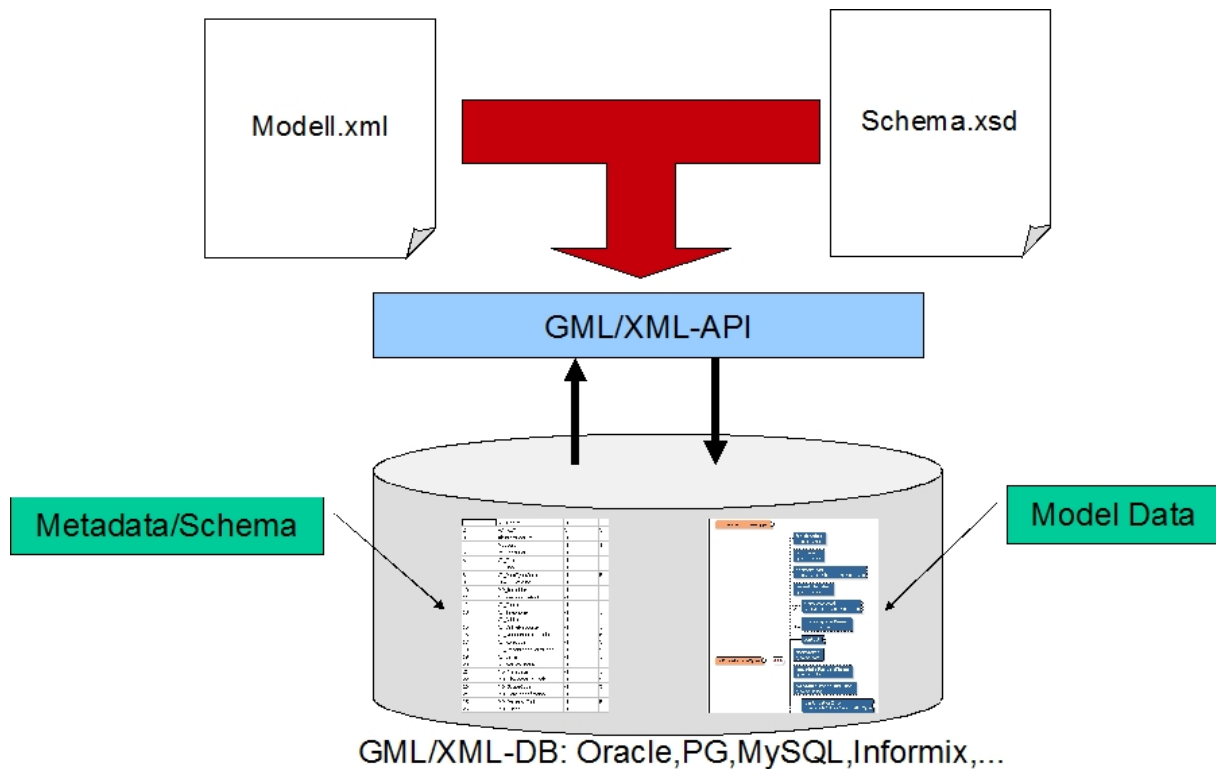
Weitere mächtige Konzepte in CityGML sind beispielsweise die impliziten Geometrien zur einmaligen Definition prototypischer Geometrieobjekte und die Möglichkeit zur Referenzierung von Modellen in externen Formaten, wie X3D oder VRML.

### 3 XML-basierte Datenbankmodellierung in SGJ

Während das XML-basierte CityGML-Modell geeignet ist, beliebig komplex strukturierte, urbane Simulationsszenarien im Kontext des zeitlichen Verlaufs zu beschreiben, besteht andererseits die Anforderung Modelle in großem Umfang hochverfügbar und in nahezu Echtzeit bereit zu stellen und hochaufgelöst zu visualisieren. Hier erscheinen zunächst für Simulationsanwendungen spezialisierte Formate wie SEDRIS [6] im Vorteil gegenüber einer bekanntermaßen schwerfälligen und großdimensionierten XML-Syntax.

Mit der SGJ-Technologie der Firma CPA Systems GmbH steht nun eine Umgebung zur Verfügung, mit der XML- und insbesondere CityGML-Modelle in hoch effizienter Weise in (objekt-) relationalen Datenbanken verwaltet und bereit gestellt werden können.

Kern des Systems ist eine abstrakte XML-Schnittstelle, über die zunächst generische Datenbank-Schemata auf Grundlage einer XML-Schemadatei erzeugt werden und anschließend die eigentlichen Datenmodelle aus der XML-Datei in Datenbanktabellen gespeichert werden.



**Bild 5:** Modellierung der XML Datenbankstruktur über XSD und XML.

Beim Aufbau des generischen Schemas werden die XML Strukturinformationen in Metadaten-sätze abgelegt. Diese Metadaten bilden im Weiteren die zentrale Kontrolleinheit beim Zugriff auf einzelne XML-Elemente.

Der SGJ-Kern stellt eine Java-XML-API zur Verfügung, über die der Anwendungsentwickler die in der Datenbank abgelegten Informationen identisch zu einer im Dateisystem abgelegten XML-Datei behandeln kann - also zum Beispiel durch die Anwendung von DOM, SAX oder XPath. Die enthaltenen geometrischen Primitive werden je nach verwendetem DBMS<sup>6</sup> entweder in den verfügbaren Geo-Erweiterungen (z.B. SDO\_Geometry) oder in reinem SQL als WKT (*Well Known Text*) oder WKB (*Well Known Binary*) gespeichert.

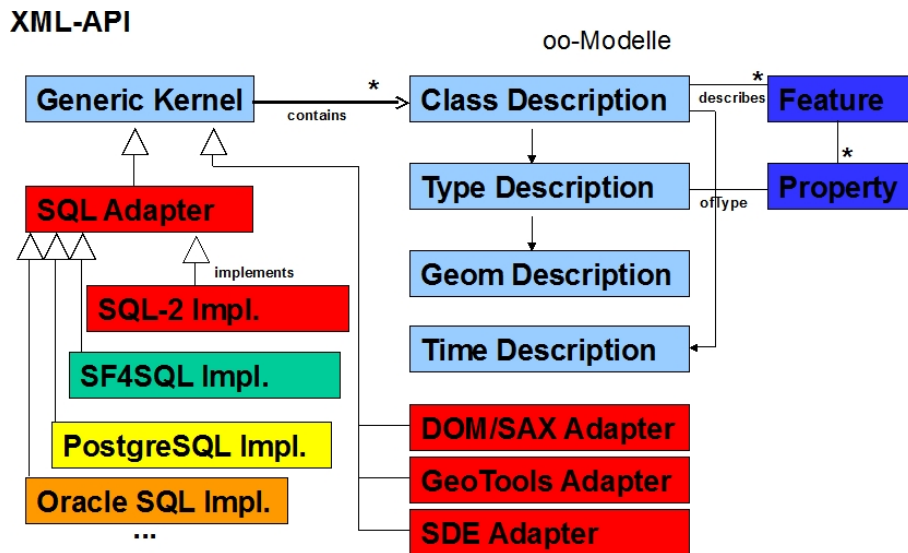
Auf diese Weise entstehen für das Simulationssystem datenbankbasierte, generische CityGML-Modelle, die strukturkonform abgelegt und abgerufen werden können, die gleichzeitig speicher-schonend unter Verwendung zugriffsoptimierender Indizes gespeichert werden. Das externe Kom-munikationsprotokoll ist ausschliesslich die XSD-basierte CityGML Struktur.

Der gesamte SGJ-Kern ist als abstraktes und erweiterbares PlugIn-System realisiert. Dadurch können durch einfache Programmierung weitere Datenhaltungssysteme angehängt werden. Auf diese Weise wurden bereits Adapter für die relationalen DBMS Oracle, PostgreSQL und MyS-QL sowie für die XML-Datenbank BerkleyDB realisiert.

## 4 Fortführung und Versionierung von GML Daten

Durch eine konsequente Unterstützung der OGC<sup>®</sup>-Spezifikationen in der Modellierung und der Architektur ergeben sich Mehrwerte, die unmittelbar genutzt werden können. Von besonderer Be-deutung ist dabei die Spezifikation des *Web Feature Services* (WFS - siehe:[3]). Dabei handelt

<sup>6</sup>Datenbank Management System



**Bild 6:** PlugIn-System des SGJ-Kerns.

es sich um eine Implementierungsspezifikationen zur Web-basierten Kommunikation über GML-Objekte. Der WFS definiert eine an den Vorgaben des W3C<sup>7</sup> orientierte Service Architektur zum kaskadierten Zugriff auf *Features* in referenzierten und entfernten Datenquellen. Die Spezifikation unterscheidet zwischen verbindlichen (*Mandatory*) und optionalen Methoden, die von einem WFS zu unterstützen sind. Zu den verbindlichen Methoden gehören die lesenden Operationen *GetCapabilities*, *DescribeFeatureType* und *GetFeature*. Dabei verwenden die Parameter der *GetFeature* Anfrage das *WFS-FilterEncoding* - eine standardisierte Anfragesprache für Geo-Objekte - zur Auswahl der betroffenen Objekte.

Zu den optionalen Methoden gehört neben dem Sperren und Entsperrern einzelner Objekte insbesondere die *Transaction* Operation. Über diese können Objekte mittels Service-Architektur verändert werden. Die durchzuführende Veränderung wird innerhalb des *Transaction-Tags* in zwei Teilen beschrieben: In der Festlegung des Transaktionstyps (*insert*, *update*, *delete*) und ggf. einem Filterausdruck zur Festlegung der betroffenen Objekte.

```
<wfs:Transaction... >
  <wfs:Update typeName="Building">
    <wfs:Property>
      <wfs:Name>name</wfs:Name>
      <wfs:Value>Posttower</wfs:Value>
    </wfs:Property>
    <ogc:Filter>
      <ogc:GmlObjectId gml:id="Building.b1">
    </ogc:Filter>
  </wfs:Update>
</wfs:Transaction>
```

Angewendet auf CityGML-Modelle entsteht so eine Service-Architektur, mit der urbane Simulationsdatenbestände konsistent und normkonform bezogen und manipuliert werden können. Unter Berücksichtigung des temporalen Schemas der ISO 19108, das integraler Bestandteil der GML-Spezifikation ist, ist es nun möglich, die Entstehung und Entwicklung einzelner Objekte des Datenbestands nachzuvollziehen und in der Simulation zu visualisieren. So können zum Beispiel

<sup>7</sup>World Wide Web Consortium



Messreihen zu Größe und Ausdehnung topographischer Objekte unterschiedliche Versionen repräsentieren, die dann in der Simulation eine Entwicklung der Landschaft wiedergeben. Mit dem temporalen Schema wird jedem Objekt eine zusätzliche Dimension zugewiesen, die - genau wie der Raumbezug - eine Geometrie und eine Topologie besitzt. Die Geometrie der Zeit spezifiziert dabei einen absoluten Zeitpunkt oder Zeitraum, während die Topologie die zeitliche Einordnung eines Ereignisses in Relation zu anderen Ereignissen beschreibt (*Ereignis B liegt zwischen den Ereignissen A und C*).

## 5 Anwendung des datenbankbasierten Ansatzes in der Simulation

Im Rahmen des Forschungsprojektes “Virtueller Wald”, das seit 2007 im Auftrag des Landesbetriebes Wald und Holz NRW von der Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung (RIF) und dem Institut für Mensch-Maschine-Interaktion der RWTH-Aachen zusammen mit Kooperationspartnern durchgeführt wird, wurde unter anderem die Eignung des beschriebenen Technologieansatzes als Kern von Simulationsanwendungen validiert.

Ziel des Projektes war es aus Luftbildern und Geodaten virtuelle Welten abzuleiten und kontinuierlich fortzuführen, um so eine Basis zur Optimierung der Waldbewirtschaftung zu schaffen und durch Simulationsszenarien Entscheidungshilfen zum Zwecke der nachhaltigen Nutzung von Waldflächen zu bieten (siehe [7]).

In einer Reihe von Benchmarktests wurden Performance, Zugriffsverhalten, Stabilität und Speicherauslastung der SGJ-Technologie geprüft und mit alternativen Technologien verglichen. Insbesondere wurden Vergleiche mit der direkten und flach-strukturierten Speicherung von attribuierten Punkten in PostgreSQL durchgeführt.

Zu diesem Zweck wurden algorithmisch Testdaten erzeugt, die geeignet waren, die zu erwartende Zielgröße von 200 Mio. Bäumen darzustellen. Diese wurden in die jeweiligen Datenhaltungssysteme eingespielt und anschliessend das Zugriffsverhalten über Auswahlpolygone verglichen. Der gleiche Test wurde im Weiteren mit linienhaften und polygonalen Objekten durchgeführt.



**Bild 7:** Virtuelle Fahrt durch das CityGML-Modell von Stuttgart .

Insgesamt zeigte sich, dass die komplexe Modellierung über GML und CityGML bei Verwendung der SGJ-Technologie zu keinen wesentlichen Performanceverlusten führt - und durch anwendungsspezifische Indizierung und Caching-Strategien noch Steigerungspotenzial erkennbar ist. Demgegenüber zeigten sich die Vorteile komplexer Modellierungsmöglichkeiten und der impliziten Nachhaltung der Objekt-Vollhistorie. So wurde zum Beispiel zeitgleich beim Landesbetriebes Wald und

Holz NRW eine transaktionale WFS-Infrastruktur aufgebaut, mit der die Datenbasis *online* über GML-Sätze - auch von mobilen Endgeräten aus - kontinuierlich fortgeführt werden können.

Zur Integration in die Simulationsumgebung wurde eine Anbindung des Simulationssystems VEROSIM<sup>®</sup> an die SGJ-API entwickelt, um so direkt auf GML- und CityGML-Modelle in der Datenbank zugreifen und diese Visualisieren zu können (Bild 7).

Mit erfolgreicher Anbindung war es nun auch möglich, ohne Mehraufwand in der Entwicklung direkt auf andere, bereits verfügbare CityGML-Modelle verschiedener Städte zuzugreifen und diese in eine Simulationsumgebung zu integrieren. Die offene Architektur von SGJ und die Verfügbarkeit einer XML-basierten API ermöglichte somit die Integration einer DB-Zugriffsstruktur in eine bestehende Simulationsumgebung.

## 6 Schlussbetrachtung

Mit den OGC<sup>®</sup>-Spezifikation zur Geo-Daten-Modellierung (GML, CityGML) und zu Service-Architekturen (WFS, WMS, WTS, W3DS) existieren international anerkannte Standards, die zunehmend von öffentlichen Einrichtungen und Daten-*Providern* aufgebaut und über Geodaten-Infrastrukturen (GDI) zur Verfügung gestellt werden. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll und erforderlich, urbane Simulationssysteme oder Simulationsumgebungen mit dem Bedarf an Geobasisdaten für diese offenen Daten- und Service-Standards zu öffnen.

Mit der hier dargestellten SGJ-Technologie und der Integration in VEROSIM<sup>®</sup> ist bereits eine Referenzlösung verfügbar, die den Mehrwert integrierter Simulationslösungen vor einem praktischen Hintergrund dokumentiert. Die zunehmende Verzahnung von Anwendungsdomänen wird durch einen solchen Ansatz unterstützt - die Transformation in domänenspezifische Formate entfällt weitestgehend.

## Literatur

- [1] OpenGIS Geography Markup Language (GML) Encoding Standard. v. 3.2.1. Open Geospatial Consortium. <http://www.opengeospatial.org/standards/gml>. 2007
- [2] OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. v. 1.0.0. Open Geospatial Consortium. <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>. 2008
- [3] OpenGIS Web Feature Service (WFS) Implementation Specification. v. 1.1.0. Open Geospatial Consortium. <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>. 2005
- [4] INSPIRE Richtlinie der Europäischen Commission. <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>.
- [5] ISO 1910-2002. Geographic Information - Temporal schema. <http://www.iso.org/iso/>. Catalogue Number 26013. TC211. 2008.
- [6] SEDRIS Specification. <http://standards.sedris.org>.
- [7] Virtueller Wald. Projektbeschreibung. <http://www.mmi.rwth-aachen.de/>. Forschung.