

# LOD4 und städtisches Facility Management

Andreas DONAUBAUER<sup>1</sup>, Jan LIEBSCHER<sup>2</sup> und Thomas H. KOLBE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Geoinformatik · Technische Universität München · Arcisstraße 21 · 80290 München

E-Mail: {andreas.donaubauer, thomas.kolbe}@tum.de

<sup>2</sup>Städtisches Vermessungsamt · Landeshauptstadt München · Blumenstraße 28b · 80331 München

E-Mail: jan.liebscher@muenchen.de

## Zusammenfassung

Gemäß des internationalen Standards CityGML werden semantische 3D-Modelle von Gebäuden, die auch das Gebäudeinnere umfassen, als LOD4-Modelle bezeichnet. Der Beitrag beschreibt Anwendungsbereiche für Innenraummodelle bei Städten, speziell im Bereich des städtischen Facility Management. Nach einer Zusammenfassung der Anforderungen, die von diesen Anwendungsbereichen an Innenraummodelle gestellt werden, diskutiert der Beitrag die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der standardisierten Informationsmodelle für den Innenraum von Gebäuden, IFC und CityGML. Anschließend werden Verfahren zur Datengewinnung in Abhängigkeit der typischerweise verfügbaren Grundlagendaten vorgestellt. Anhand eines Anwendungsbeispiels der Landeshauptstadt München wird eine cloud-basierte Lösung auf der Basis von CityGML beschrieben. Auf Grundlage der Erfahrungen der Landeshauptstadt und der Technischen Universität München werden Schlussfolgerungen für den Einsatz von LOD4-Modellen im Städtischen Facility Management gezogen.

## 1 Anwendungsbereiche für Innenraummodelle bei Städten

Großstädte zählen zu den Pionieren bei der Erstellung und Nutzung von virtuellen 3D Stadtmodellen (SCHILCHER ET AL. 1998). Immer noch steht bei kommunalen Anwendungen die Modellierung der äußeren Hülle von Gebäuden im Vordergrund. Dieser Beitrag zeigt, dass es daneben ein großes Anwendungspotenzial für räumlich-semantische Modelle des Gebäudeinneren gibt. Der internationale Standard CityGML (GRÖGER ET AL. 2012) legt die Bezeichnung „LOD4“ für derartige Modelle fest.

### 1.1 Generische Funktionen

Orthogonal zu den in den folgenden Abschnitten definierten Anwendungsbereichen für LOD4-Modelle bei Städten, können generische Funktionen auf der Grundlage von LOD4-Modellen identifiziert werden. Zu diesen Funktionen zählen unter anderem:

- die Innenraumpositionierung und -lokalisierung,
- das Routing und Ortsbezogene Dienste im Inneren von Gebäuden, siehe z.B. KRISP (2013),
- die Ermittlung von Maßen und Kennzahlen, wie Wandflächen, Bodenflächen, Volumen, Bruttogrundfläche (BGF) etc. im Gebäudebestand,
- Sichtbarkeitsanalysen und

- thematische Auswertungen (z.B. Aggregation von Werten thematischer Attribute nach Stockwerk, Raumnutzung).

## 1.2 Facility Management

Egal ob Kommunen, Industrie- oder Bürokomplexe, Wohnungsbaugesellschaften – die Verwaltung von Gebäuden und Arealen ist das zentrale Thema der Eigentümer. Das beginnt mit der Planung und geht über die Portfolio- und Nutzungsverwaltung, sowie die Reinigung und Instandhaltung bis hin zur Notfall- und Sicherheitsplanung. Moderne Verwaltungssysteme sollen dabei helfen, die Kosten zu minimieren und die Nutzung zu optimieren, also die Nutzung so effektiv wie möglich zu gestalten. Gerade bei größeren Liegenschaften, wie Industrieparks oder Büro- bzw. Campuskomplexen und bei verteilten Liegenschaften, wie sie zum Beispiel bei einer Kommune anzutreffen sind, kann der Einsatz von GIS sinnvoll sein. Damit lassen sich die einzelnen Objekte in Relation zu einander und ihrer Umgebung setzen. So ist statt der Konzentration auf ein einzelnes Objekt, ein Blick auf das Große und Ganze möglich, was neue Analysen ermöglicht und Zusammenhänge erkennen lässt. Gerade für Großstädte mit ihrem meist großen und räumlich verteilten Immobilienportfolio ist diese Einbettung in den geographischen Kontext sinnvoll.

Mit der Einführung moderner Konstruktionswerkzeuge in der Objektplanung, gibt es heute die Möglichkeit 3D-Informationen bereits von Beginn der Realisierung an zu nutzen. Dies kommt den Grundsätzen des Facility Managements, welches den gesamten Lebenszyklus von Objekten innerhalb und außerhalb des Gebäudes überspannen soll, entgegen. Dazu gehören die Phasen Konzeption, Planung, Bau, Nutzung und zuletzt der Abriss. Da jede Phase des Lebenszyklusses eine andere Zeitdauer hat, ist es sehr wichtig, die zeitlichen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Phasen schon in der Planung zu berücksichtigen, um den Nutzungserfolg nachhaltig zu gestalten oder gar zu verbessern (BLEIFUSS 2009). Da im Normalfall die aktive Nutzung die größte Zeitspanne ausmacht, kommt den verwaltungstechnischen Tätigkeiten beim Facility Management auch die größte Bedeutung zu – dies sind – eintretend nach der Länge der Nutzung:

- Pflege und Reinigung,
- Anpassung der Nutzungsmöglichkeiten an die Anforderungen der Nutzer – z.B. Zuschnitt und Ausstattung,
- Sicherstellen optimaler „Verkehrsströme“ – z.B. gute Erreichbarkeit und Evakuierbarkeit,
- Schönheitsreparaturen und Malerarbeiten,
- Instandhaltung von Bauteilen, Anlagen und Einrichtungen,
- Sanierungen – z.B. Optimierung des Energieverbrauchs, Einhalten neuer Vorschriften und Umsetzung neuer Erkenntnisse.

Ganzheitlich betrachtet geht es um die Bewahrung oder (Wieder-)Herstellung der Wirtschaftlichkeit bei der Nutzung eines Gebäudes. Die Wirtschaftlichkeit ergibt sich dabei aus dem Verhältnis aus Kosten und Nutzen. Dieses Verhältnis lässt sich mit den entsprechenden Informationen analysieren und optimieren.

Neben den klassischen Sach-Informationen können hier dreidimensionale graphische Informationen die Beschaffenheit und den Zustand von Liegenschaften dokumentieren, um diese für Analysen und entsprechende Optimierungen nutzen zu können.

Dies beschränkt sich nicht auf ein Gebäude im klassischen Sinne. Insbesondere bei komplexeren Liegenschaften wie größeren und verschachtelten Gebäudekomplexen, Büro- oder Industriegeländen aber auch unterirdischen Bauwerken helfen solche Innenraummodelle den Überblick zu behalten und Zusammenhänge zu erkennen.

Nach der DIN 3276: 2000-08 unterscheidet man das Infrastrukturelle Gebäudemanagement (IGM) und das Technische Gebäudemanagement (TGM), wobei der Begriff des Gebäudemagements sich auf die Gesamtheit einer Liegenschaft erweitern lässt

### **a) Reinigung und Pflege, sowie Schönheitsreparaturen (IGM)**

Während sich anhand eines zweidimensionalen Grundrisses eines Objektes die zu reinigende Bodenfläche noch recht leicht ermitteln lässt, benötigt man zur Ermittlung von zu streichenden Wandflächen oder zu reinigenden Glasfassaden und im Inneren des Gebäudes verbauten Glasflächen, die Fläche der jeweils zu betrachtenden Teile. Für die Abrechnung von Reinigungsleistungen spielt zudem die Höhe und damit die Erreichbarkeit der zu reinigenden Flächen eine entscheidende Rolle. Somit erschließt sich der Nutzen 3D-Gebäudemodellen mit ihrer äußeren Hülle, aber auch der Nutzen von LOD4-Modellen sehr schnell – besonders, je komplexer und unregelmäßiger die Form der Gebäude bzw. Räume ist. Einmal erfasst, lassen sich solche Daten nicht nur zur Abschätzung und Abrechnung der zu reinigenden oder zu streichenden Flächen nutzen, sondern auch zur Klassifikation des Schwierigkeitsgrades und zur Einschätzung der benötigten Hilfsmittel, welches wieder Einfluss auf die Kosten der Arbeiten hat.

### **b) Nutzungs- und Nutzerverwaltung (IGM)**

Die Verwaltung der Nutzung der Räume kann zunächst auch auf Basis der zweidimensionalen Grundrisse der Stockwerke erfasst und veranschaulicht werden. Für die Suche nach geeigneten Räumen in Abhängigkeit entsprechender Nutzungsparametern können Innenraummodellen äußerst hilfreich sein. Dabei sind dimensionale Parameter wie Raumgröße und Raumhöhe z.B. für die Suche nach einem geeigneten Ausstellungsraum für Exponate mit einer bestimmten Höhe genauso interessant, wie die gleichzeitige Frage wie weit die Entfernung vom Eingang des Gebäudes und den öffentlichen Toiletten ist. Ein anderes Beispiel ist die Zuweisung von Büroeinheiten. In diesem Zusammenhang stellt sich oft die Frage, ob es hinsichtlich Größe, Zuschnitt und Anzahl geeignete Räume gibt, die gut gruppiert werden können. Eine mögliche Priorisierung bei der Gruppierung könnte in der Anforderung liegen, dass sich die Räume in einer Etage befinden müssen – ggf. auf Kosten längerer Wege. Alternativ könnte die Priorisierung nach möglichst kurzen räumlichen Wegen erfolgen, dafür jedoch eine Barriere wie eine Treppe oder ein Aufzug in Kauf genommen wird, oder gar bewusst gewünscht wird.

Weitergehende Parameter könnten die unmittelbare Umgebung dreidimensional mit einbeziehen. Insbesondere der Einfluss der Lichtverhältnisse, des Lärms oder mögliche Vibrationsquellen durch z.B. nicht sichtbare unterirdische Verkehrswege (z.B. U-Bahn), könnten mit Hilfe dreidimensionaler räumlicher Abfragen, Analysen oder Simulationen berücksichtigt werden.

### **c) Instandhaltung von Bauteilen, Anlagen und Einrichtungen (TGM)**

Für das Instandhaltungsmanagement sind im Gegensatz zum Management der Reinigung und oberflächlicher Schönheitsreparaturen weitere Informationen notwendig. Insbesondere

für Transportanlagen wie Fahrstühle, Rolltreppen, Be- und Entlüftungsanlagen, Verteilernetze für Strom, Kommunikation, Wärme und Wasser (auch Sprinkleranlagen) sind neben den technischen Parametern auch die Transport- und Leitungswege über die einzelnen Ebenen hinweg zu dokumentieren. Diese Transportwege können sich auch in abgehängten Decken oder in Zwischenböden befinden, weshalb diese nicht sichtbaren Räume in den Innenraummodellen entsprechend berücksichtigt werden müssen (BLEIFUSS 2009).

#### **d) energetische und technische Sanierungen (TGM)**

Wenn ein Objekt eine lange Nutzungsdauer hat, stellt sich irgendwann die Frage, ob die Energiebilanz noch wirtschaftlich oder umweltverträglich ist bzw. ob es aktuell in einem bau-, gesundheits- oder brandschutztechnisch guten Zustand ist und den aktuell gültigen einschlägigen Vorschriften genügt. Bei der Bewertung der Energiebilanz können LOD4-Modelle einerseits die Gewinne sowohl durch entsprechende Produktionsanlagen (Solarthermie, Photovoltaik, Miniwindkraftanlagen) und durch passive Energiegewinnung mittels entsprechende Fassadengestaltung und Sonnenlichtnutzung (auch Lichthöfe und technische Lichtleiter) als auch die interne Wärmenutzung und Lichtverteilung simulieren. Entsprechende Erkenntnisse können dann in die energetische Sanierung einfließen. Im Bereich des vorbeugenden Brandschutzes können verschiedene Szenarien simuliert werden, (Rauchverteilung, Fluchtwege, Zugangsmöglichkeiten) die wiederum zu entsprechenden Ergänzungen technischer Anlagen, Sicherheitsvorschriften und Ausweisung von Zugangs- und Evakuierungswegen führen können.

### **1.3 "Verkehrsströme" im Innenraum**

Ein weiterführender Aspekt zum klassischen Facility Management, nämlich der reinen Nutzungsverwaltung einerseits und dem Verwalten der technischen Anlagen andererseits sind die „Verkehrsströme“ (Personenströme) innerhalb von Liegenschaften. Dies lässt sich am anschaulichsten an besonders frequentierten Objekten wie Einkaufszentren, Museen oder Krankenhäusern erläutern. Grundlegende Konzepte und weiterführende Literatur zu diesem Thema ist unter dem von HILLIER&HANSON (1984) von Seiten der Architektur und Jiang (z.B. JIANG&CLARAMUNT 2002) seitens der Geoinformatik geprägten Begriff „space syntax“ zu finden.

In Bezug auf das städtische Facility Management sind dabei zwei grundsätzliche Fragestellungen relevant:

#### **Wie optimiert man die Zu- und Durchgängigkeit?**

Wie wirken sich die baulichen Gegebenheiten und die Anbindung an die Umgebung Hauptströme auch über Etagen hinweg aus?

- Wo sind die am meisten frequentierten Plätze und wo sind „tote Räume“?
- Welche baulichen Maßnahmen oder Leitsysteme wirken sich wie auf die Ströme aus? Wie kann man diese Ströme bewusst verteilen, bewusst konzentrieren oder bewusst von Räumen fernhalten.
- Welche Nutzungen lassen sich sinnvollerweise auf einer Ebene gruppieren, dafür ggf. räumlich verteilt und welche sollten übereinander gruppiert werden?

## Wie optimiert man die Evakuierbarkeit von Gebäuden?

Im vorbeugenden Brand- bzw. Katastrophenschutz stellt sich genau die gegensätzliche Frage: wie kann man den Abfluss der Ströme optimieren. Basierend auf der Nutzungsart und der Nutzungsintensität in Kombination der Erkenntnisse über die Konzentration der Ströme der Zu- und Durchgängigkeitsanalyse, sollte sich die Evakuierbarkeit mittels der LOD4-Modelle analysieren. Als weitere Faktoren sollten dann noch die Verteilung von Rauch und Gasen berücksichtigt werden um mittels dieser Erkenntnisse zusätzliche Einrichtungen zu Evakuierung oder weitere Zugangsmöglichkeiten auch von Außen realisieren zu können.

Derartige Evakuierungssimulationen sind dabei nicht nur im vorbeugenden Brand- und Katastrophenschutz von Interesse, sondern können im Ernstfall die Lösch- und Bergungsarbeiten unterstützen. Beispielsweise beschreibt SIDLER (2010) hierfür folgende Anwendungsfälle: Da Fluchtwege zum Beispiel durch Feuer, Verrauchung oder Einsturz(-gefahr) blockiert sein können, ist eine Berechnung von Fluchtwegen in Echtzeit wünschenswert. Zudem kann eine Bereitstellung der Lage gefährlicher bzw. schützenswerter Güter für Rettungskräfte nützlich sein.

## 2 Anforderungen an Innenraummodelle und Standards

Betrachtet man die oben beschriebenen Anwendungsmöglichkeiten für Innenraummodelle, so lassen sich kurz zusammengefasst folgende Anforderungen an entsprechende Datenstrukturen formulieren:

- Innenraummodelle sollten mittels *3D-Geometrien* modelliert werden. Um neben der Ermittlung metrischer Informationen, wie Flächeninhalten und Volumen, weitergehende Analysen durchführen zu können, z.B. die automatische Ableitung von Graphen für das Indoor-Routing oder für die Simulation von Personenströmen, sollten auch topologische Beziehungen zwischen geometrischen Objekten explizit modelliert oder aus der Geometrie ableitbar sein.
- Neben der Geometrie ist auch die *Modellierung der Semantik der Objekte im Innenraum eines Gebäudes* von Bedeutung. Entscheidende Entitäten sind hier der Raum mit seiner semantisch in Wand-, Boden- und Deckenflächen zerlegten Hülle, Fenster, Türen, fest eingebaute Objekte der Gebäudeinstallation wie Aufzüge, Leitungen, Sanitäreinrichtungen und dergleichen, das Stockwerk sowie die äußere Hülle des Gebäudes, ebenfalls semantisch zergliedert in Wand-, Dach- und Bodenflächen mit Objekten für Fenster und Türen. Zu den genannten semantischen Objekten müssen in Abhängigkeit der Anwendung dabei neben ihrer Geometrie weitere Eigenschaften erfasst und gespeichert werden, z.B. im Fall des Reinigungsmanagements die Art des Belags bei Bodenflächen oder das Material bei Flächen der Gebäudehülle.
- Einige der oben genannten Anwendungsmöglichkeiten erfordern die *Kombination von Gebäudemodell und Umgebung* bzw. die Kombination von Innenraummodell und Stadtmodell. Soll diese Kombination nicht nur zu Visualisierungszwecken erfolgen, sondern zur Analyse des Gebäudes in seinem geographischen Kontext, so muss das Gebäudemodell entweder in einer durch GIS-Software interpretierbare Form vorliegen, z.B. Georeferenzierung und Modellierung der Geometrien nach dem Paradigma der Randdarstellung (B-Rep) oder automatisch in eine solche Struktur überführbar sein.

Ein Abgleich dieser Anforderungen mit den Möglichkeiten bestehenden internationalen Standards für Datenstrukturen semantischer 3D Innenraummodelle führt zu den beiden Standards IFC (ISO 16739:2013) und CityGML (GRÖGER ET AL. 2012) aus der CAE-/BIM- bzw. GIS-Welt. Beide Standards definieren Informationsmodelle für Gebäude. Bedeutsame Unterschiede finden sich in den jeweils verwendeten Modellierungsparadigmen. So wird nach KOLBE&PLÜMER (2004) mit CityGML ein akkumulatives Paradigma verfolgt, d.h. das Gebäude wird aus seinen beobachtbaren Flächen rekonstruiert, während IFC einen generativen Ansatz verfolgt, d.h. das Gebäude wird aus seinen volumetrischen Bauteilen konstruiert. Demzufolge unterscheiden sich auch die Geometriemodelle der Standards mit B-Rep bei CityGML und CSG, B-Rep und Sweep Volumes bei IFC. Zu beachten ist hierbei, dass heute verfügbare Geodatenbanksysteme und Geoinformationssysteme zwingend B-Rep-Geometrien für ihre räumlichen Zugriffsmethoden (räumlich Indexierung, räumliche Filter bei Datenbankabfragen) erfordern.

Unterschiede ergeben sich auch in der Tiefe der semantischen Modellierung. Während CityGML eine Stadt mit ihren physischen Entitäten modelliert, beschränkt sich IFC auf Gebäude und bauliche Anlagen, modelliert das Innere von Gebäuden jedoch mit größerer semantischer Tiefe. CityGML eignet sich damit besser zur Rekonstruktion bestehender Gebäude und zur Analyse von Gebäuden bzw. Gebäudebestandteilen in ihrem geographischen Kontext, IFC ist dagegen bei der Konstruktion neuer Gebäude im Vorteil. Methoden und Werkzeuge für die Transformation von Daten zwischen den beiden Standards sind daher von großem Interesse und werden in zahlreichen Arbeiten beschrieben. So beschreiben ISIKDAG&ZLATANOVA (2009a) den konkreten Gewinn der Zusammenführung von IFC- und CityGML-Gebäudemodellen für verschiedene Anwendungen, die zum Teil auch für das städtische Facility-Management relevant sind. In (ISIKDAG&ZLATANOVA 2009b) werden technische Anforderungen an eine geometrische und semantische Transformation zwischen IFC und CityGML beschrieben. NAGEL ET AL. (2009) beschreiben konzeptuelle Anforderung an eine Methode, die aus uninterpretierten 3D-Modellen mit Hilfe der semantischen Klassifikation des CityGML-Standards IFC-Modelle erzeugt und gehen dabei detailliert auf Probleme ein, wie sie z.B. durch Mehrdeutigkeiten bei der Zuordnung von Wandflächen (CityGML) zu volumetrischen Wand-Körpern (IFC) auftreten können.

### 3 Datengewinnung

Für die Datengewinnung von semantischen 3D-Innenraummodellen gibt es verschiedene Ansätze. Je nach Situation, Bestand und Umfang des Portfolios wird man für die einzelnen Objekte auch die unterschiedlichen Ansätze nutzen. Dabei bestimmen neben den verfügbaren Ausgangsdaten auch die Zielsetzungen, welche der Ansätze sich wirtschaftlich lohnen.

Alle gewonnenen Daten sollten möglichst einem der oben genannten Standards entsprechend modelliert und georeferenziert werden bzw. nachträglich semantisch klassifiziert und georeferenziert werden. Die Georeferenzierung ist eine der Grundbedingen um die Liegenschaften und Objekte in ihren geografischen Kontext zu setzen und darin analysieren zu können.

#### 3D-Planungsdaten

Der einfachste, aber auch stringenteste Ansatz ist die Übernahme von digitalen Planungsdaten. Dabei empfiehlt es sich, bereits bei der Ausschreibung der Objektplanung auf eine mögliche Weiternutzung der Daten im CAFM hinzuwirken.

Moderne Architekturprogramme (z.B. Archicad, Autodesk, Bentley, Nemetschek, Vectorworks u.v.a.) unterstützen in den aktuellen Versionen die IFC-Schnittstelle. Eine aktuelle Übersicht kann man sich auf der offiziellen Webseite der für den IFC-Standard zuständigen Building Smart Alliance <http://www.buildingsmart-tech.org/implementation> verschaffen.

Entsprechend sollte bei Neuplanungen oder sich bei in Realisierung befindlichen Objekten, die Übergabe der Objektdateien im IFC-Format eingefordert werden. Dadurch wird man in die Lage versetzt, alle relevanten Informationen für das Infrastrukturelle und das Technische Management bei Bedarf zur Verfügung zu haben.

Für das Infrastrukturelle Management – also dem Alltagsgeschäft für Nutzung und Reinigung empfiehlt es sich, diese Daten entsprechend dem CAFM bzw. dem korrespondierenden GIS als LOD4-CityGML zur Verfügung zustellen. Entsprechende Modell-Konvertierungen können mit Werkzeugen wie FME (<http://www.safe.com>), dem FZK Explorer (<http://www.iai.fzk.de>) oder dem Open Source BIM-Server (<http://www.bimserver.org>) durchgeführt werden. Während anlagentechnische Informationen dabei derzeit verloren gehen, reduziert sich die Datenmenge stark und eine empfehlenswerte Georeferenzierung ermöglicht die Anwendung von GIS-Werkzeugen zur weiteren Analyse, Fortführung und Simulationen.

Sollten keine Daten im IFC-Format zur Verfügung gestellt werden können, kann mit Informationsverlust alternativ auf andere 3D-Datenformate – allen voran VRML oder Collada, aber auch DXF und DWG ausgewichen werden. Entsprechend des Informationsverlustes müssen ggf. Daten nacherfasst werden. Falls lediglich 2D-Daten geliefert werden können, ist mit → **2D-Planungsdaten (digitale Vektordaten)** weiterzufahren.

#### 3D-Gebäudeaufnahmen

Wenn keine Planungsdaten vorhanden sind, ist die 3D-Gebäudeaufnahme bzw. 3D-Innenraumaufnahme eine weitere Möglichkeit, an aktuelle Daten der Objekte zu kommen. Diese Verfahren haben zusätzlich den Vorteil, dass sie in jedem Fall den aktuellen Ist-Stand dokumentieren. Je nach Zielsetzung des Detaillierungsgrades und Informationsgehaltes stehen

dabei Verfahren mit klassischen Tachymetern, terrestrischen Laserscannern oder terrestrischer Photogrammetrie, sowie Kombinationen der Verfahren zur Verfügung. Die Anforderungen an die zugewinnenden Daten spiegeln sich gleichzeitig auch in den Kosten wider. Bei der Bauwerksdokumentation historisch oder architektonisch bedeutender Gebäude werden die Genauigkeit und die Detailtreue eine höhere Bedeutung haben, als bei „Einheitsbauwerken“.

### **2D-Planungsdaten (digitale Vektordaten)**

Bei Bestandsobjekten ist die Chance groß, dass bereits digitale 2D-Planungsdaten vorliegen. Diese kommen entweder aus nicht allzu weit zurückliegenden Realisierungen, oder zwischenzeitlich erfolgten 2D-Bestandsaufnahmen im Rahmen von durchgeführten Sanierungsmaßnahmen. Sollten diese Pläne nur im geringen Umfang vom aktuellen Ist-Stand abweichen, so eignen sie sich gut für die Erstellung CityGML-konformer Innenraummodelle. Neben der Fortführung des Grundrisses müssen weitere Informationen wie Raum- und Stockwerkshöhen nacherfasst werden. Mittels Georeferenzierung und Sondierung der Inhalte der meist als DFX oder DWG vorliegenden Daten, einer ggf. noch notwendigen Flächenbildung und einiger weniger Automatismen können die notwendigen 3D-Flächen erzeugt und durch räumliche Verschneidung mit den Zeichnungselementen (z.B.: Raumnummer, Nutzungssymbole etc.) mit weiterführenden CAFM relevanten Informationen semantisch angereichert werden. Dadurch kann ein entsprechendes, für das infrastrukturelle Management geeignetes Innenraummodell erzeugt werden. Ein solches Verfahren wird beispielsweise in BLEIFUSS 2009 beschrieben.

### **2D-Planungsdaten (analog)**

Bei älteren Bestandsobjekten liegen Bestandspläne auch oft nur als Papierplan vor. Der Aufwand der entsprechenden Digitalisierung muss deshalb wohl überlegt sein, insbesondere da die Wahrscheinlichkeit groß ist, dass die Pläne vom Ist-Stand signifikant abweichen. Prinzipiell sind die ersten Schritte des Einscannens und der Georeferenzierung der entstandenen Rasterdaten aber durchaus sinnvoll. Der Aufwand ist überschaubar und es ist im CAFM oder GIS eine bildliche Darstellung möglich. Weicht der analoge Plan nicht allzu stark vom Ist-Stand ab und steht keine Sanierung an, für die hochgenaue Bestands-Daten benötigt werden, so kann eine Digitalisierung der Rasterdaten trotz Genauigkeitseinschränkungen sinnvoll sein. Sobald die 2D-Vektordaten vorliegen kann wie bei den → **2D-Planungsdaten (digitale Vektordaten)** weiterverfahren werden.

### **Alternative Methoden**

Neben diesen, in der Praxis bewährten Methoden der Datengewinnung werden in der Literatur eine Reihe von Ansätzen aus der Forschung beschrieben. So beschreibt CLEMEN (2009) ein Verfahren, das mit dem Festlegen der topologischen Gebäudestruktur in Form einer 3D-Skizze beginnt. Diese Skizze wird sodann mit Relativmaßen annotiert. Mittels einer Ausgleichsrechnung wird aus der topologischen Struktur und den Relativmaßen schließlich die Gebäudegeometrie berechnet. BECKER ET AL. (2013) stellen ein Verfahren vor, das analog zu der für die äußere Gebäudehülle bereits in kommerziellen Produkten verfügbaren prozeduralen, regelbasierten Modellierung, die Nutzung von Graphersetzungs-systemen für die prozedurale Modellierung von 3D-Innenraummodellen ermöglicht.

## 4 Anwendungsbeispiel Facility Management bei der Landeshauptstadt München

Derzeit werden in der Stadtverwaltung München die zur Verwaltung der Liegenschaften benötigten Informationen konsolidiert und die Einführung eines CAFM vorbereitet. Begleitend dazu werden die zur Verfügung stehenden graphischen Daten analysiert und deren Nutzen für das CAFM evaluiert. Praktisch liegen für den Bestand der verwalteten Bürogebäude digitale 2D-Vektordaten (in DXF / DWG) vor. Für einzelne Gebäude wie dem Rathaus, der Hauptfeuerwache und einigen weiteren gibt es 3D-Inneraumaufmasse – sowohl mit Tachymetern als auch mittels terrestrischem Laserscanning ermittelte Daten.

Für die Datengewinnung werden alle obengenannten Ansätze evaluiert. Die Aufbereitung der 2D-Vektordaten mittels zusätzlicher Datenerhebung stellte sich für die meisten der Bürogebäude als effektivste Methode heraus. Das liegt auch daran, dass die 2D-Grundrisse größtenteils fortgeführt wurden. Somit beschränkt sich die Datenerfassung auf die Raumhöhen, die bei den meisten Gebäuden zudem nicht in jedem Raum erfolgen muss.

In einer ersten Evaluierung wurden Informationen über Fensterflächen und Türöffnung zunächst nicht berücksichtigt. In einer zweiten Stufe wird zumindest der Workflow einer praktikablen effektiven Erfassung der Fensterflächen untersucht.

Des Weiteren wird man bei Vorhandensein analoger Pläne zumindest das Scannen und die Georeferenzierung dieser durchführen, um zumindest bei der „Draufsicht“ bildliche Informationen zentral vorliegen zu haben. Über die Digitalisierung von Vektordaten und die Überführung in ein LOD4-Modell bzw. als Alternative die Bestandsmessung wird im Einzelfall entschieden werden müssen.

Im Vorfeld der CAFM-Einführung wurde in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München (TUM) untersucht, inwieweit sich die durch DIN-Normen festgelegten und für das CAFM relevanten Informationen auf CityGML-LOD4-Modelle abbilden lassen. Es zeigte sich, dass CityGML über den vom Standard definierten Mechanismus „Application Domain Extension (ADE)“ erweitert werden muss. Eine entsprechende CAFM-ADE wurde entwickelt und anhand eines Verwaltungsgebäudes der Landeshauptstadt München evaluiert (BLEIFUSS ET AL. 2009). Das im Jahr 2009 aus 2D-CAD-Plänen erzeugte CityGML-LOD4-Modell des Verwaltungsgebäudes wurde in eine Instanz der 3DCityDB (<http://www.3dcitydb.org>) importiert und kann so mit den in YAO ET AL. (2014) beschriebenen cloud-basierten Werkzeugen visualisiert und analysiert werden. Da auch die Daten des LOD1- und LOD2-Stadtmodells der Landeshauptstadt München mittels der 3DCityDB verwaltet werden, ist so eine Integration mit den bestehenden Stadtmodellldaten möglich.

Die folgenden Abbildungen zeigen das Verwaltungsgebäude im LOD2 (Abb. 1) sowie eine Aggregation der Wand- und Bodenflächen aller Büroräume auf der vierten Etage des Gebäudes – ein Beispiel für eine Analyse, wie sie typischerweise beim Reinigungsmanagement oder für die Instandhaltung genutzt wird.

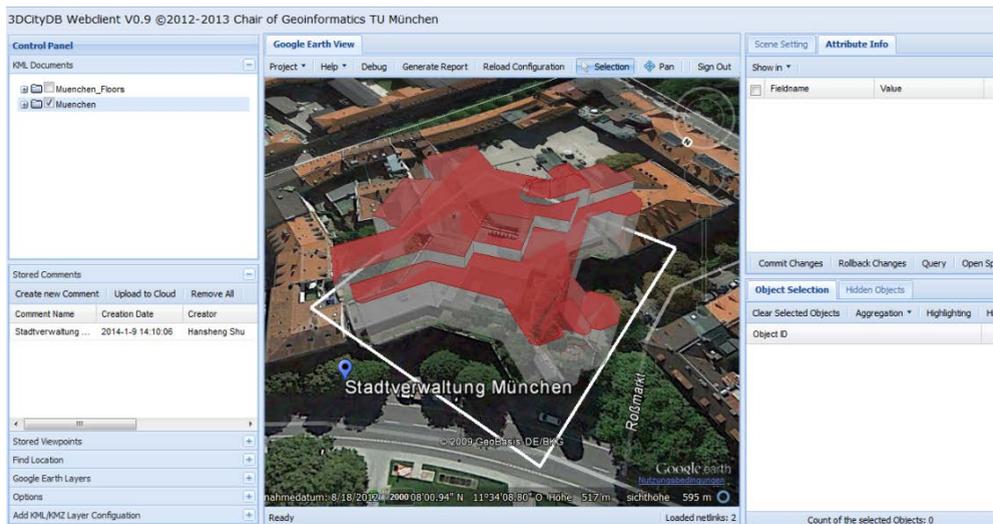


Abb. 1: LOD2-Gebäude Stadtverwaltung München, Benutzerschnittstelle des Web-Client

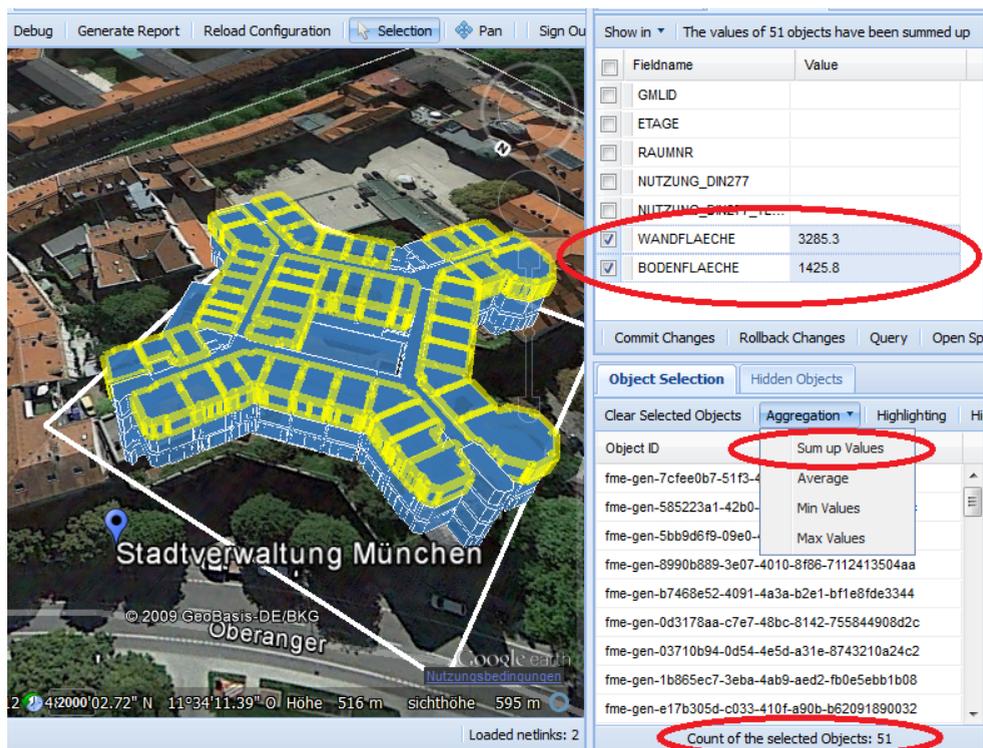


Abb. 2: Aggregation der Wand- und Bodenflächeninhalte aller 51 durch eine Anfrage selektierten Büroräume auf der 4. Etage

## 5 Schlussfolgerungen

Der Beitrag beschreibt Anwendungsmöglichkeiten für semantische 3D-Innenraummodelle im städtischen Facility-Management. Die Erfahrungen der Landeshauptstadt München bei der Anforderungsanalyse und bei der Evaluierung vorhandener Grundlagedaten und Erfassungsmethoden sowie das prototypisch realisierte Anwendungsbeispiel lassen folgende Schlüsse zu: Es besteht ein breites Anwendungsspektrum für semantische LOD4-Innenraummodelle bei Städten. Es gibt zwei teilweise überlappende Standards aus der CAE-/BIM-Welt bzw. aus der GIS-Welt, die sich für CAFM-Anwendungen ergänzen. Besonders, wenn semantische 3D-Innenraummodelle räumlich analysiert oder in ihren geographischen Kontext eingebettet werden sollen, bietet sich CityGML als Standard an. Um die vom CAFM gestellten Anforderungen zu erfüllen, muss das semantische Modell von CityGML erweitert werden. Hierfür existiert mit dem ADE-Mechanismus eine standardisierte Vorgehensweise. Der entwickelte Prototyp zeigt die Vorteile der Nutzung des CityGML-Standards: Mit sehr geringem Aufwand können die LOD4-Modelle die ursprünglich für LOD2-Modelle entwickelte, cloudbasierte Lösung integriert werden. Typische Analysen wie die Aggregation von Flächen für das Reinigungs- und Instandhaltungsmanagement können so in einfacher Form von einem Sachbearbeiter mittels Web-Browser durchgeführt werden.

Bei der künftigen Weiterentwicklung von CityGML sollte das von CityGML definierte LOD-Konzept überdacht werden, da es zum Einen die Innenraummodellierung zwingend mit einer hochdetaillierten äußeren Hülle des Gebäudes kombiniert, wie sie nur in Ausnahmefällen flächendeckend für das Immobilienportfolio einer Stadt vorliegt. Zum Anderen bedeutet LOD4 in der aktuellen Version des Standards auch höchste semantische und geometrische Tiefe bei der Modellierung von Innenräumen. Die verfügbaren Grundlagedaten und automatischen Methoden zur Erzeugung von 3D-Innenraummodellen sind liefern oft weniger detaillierte Informationen, die jedoch für einige Anwendungen aus dem CAFM-Bereich ausreichend sind.

## Literatur

- BECKER, S., PETER, M., FRITSCH, D., PHILIPP, D., BAIER, P., DIBAK, C. (2013), Combined Grammar For The Modeling Of Building Interiors. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-4/W1, 2013.
- BLEIFUSS, R. (2009), 3D-Innenraummodellierung: Entwicklung und Test einer CityGML-Erweiterung für das Facility Management, Diplomarbeit am Fachgebiet Geoinformationssysteme der TUM, unveröffentlicht, 2009.
- BLEIFUSS, R., DONAUBAUER, A., LIEBSCHER, J., SEITL, M. (2009), Entwicklung einer CityGML-Erweiterung für das Facility Management am Beispiel Landeshauptstadt München. In: STROBL, J.: Angewandte Geoinformatik 2009: Beiträge zum 21. AGIT-Symposium Salzburg, Wichmann Verlag, Heidelberg, 2009.

- CLEMEN, CH. (2009), Ein geometrisch-topologisches Informationsmodell für die Erfassung und Validierung von flächenparametrisierten 3d-Gebäudemodellen. Dissertation an der TU Berlin, Fakultät VI – Planen Bauen Umwelt, Berlin 2009.
- DIN 3276: 2000-08. Gebäudemanagement - Begriffe und Leistungen. Deutsches Institut für Normung, 2000.
- GRÖGER, G., KOLBE, T. H.; NAGEL, C., HÄFELE, K.-H. (Eds) (2012), OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, Version 2.0.0, Open Geospatial Consortium, 2012.
- HILLIER, B., HANSON, J. (1984), *The Social Logic of Space*, Cambridge University Press, Cambridge, 1984.
- ISIKDAG, U., ZLATANOVA, S. (2009a), A SWOT analysis on the implementation of Building Information Models within the Geospatial Environment. In: *Urban and Regional Data Management – UDMS Annual 2009*, Taylor & Francis Group, London, S. 15–30.
- ISIKDAG, U., ZLATANOVA, S. (2009b), Towards defining a framework for automatic generation of buildings in CityGML using building Information Models. In: LEE, J., ZLATANOVA, S. (Hrsg.): *3D Geoinformation and Sciences*, Springer, Berlin, Heidelberg, S. 79–96.
- ISO 16739:2013: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries., 2013.
- JIANG, B., CLARAMUNT, C. (2002), Integration of space syntax into GIS: new perspectives for urban morphology. In: *Transactions in GIS*, 6(3), 295-309, 2002.
- KOLBE, T. H., PLÜMER, L. (2004), Bridging the Gap between GIS and CAAD. *GIM International* 2004, Vol. 18, No. 7.
- KRISP, J. (Hrsg.) (2013), *Progress in Location-Based Services*. Springer, 2013.
- NAGEL, C., STADLER, A., KOLBE, T.H. (2009), Conceptual requirements for the automatic reconstruction of Building Information Models from uninterpreted 3D models. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial, Information Sciences* 38 (3–4/C3), 46–53.
- SCHILCHER, M., GUO, Z., KLAUS, M., ROSCHLAUB, R. (1998), Semi Automatic Derivation of 3D-City-Models from existing 2D-Geoinformationssysteme, In: *Spatial Information Science and Technology SIST*, 13. - 16. Dezember 1998, Wuhan (China).
- SIDLER, A. (2010), *Innenraummodellierung mit CityGML*. Masterprojektarbeit an der Professur für Geoinformationssysteme, ETH Zürich, unveröffentlicht, 2010.
- YAO, Z., SINDRAM, M., KADEN, R., KOLBE T.H. (2014), Cloud-basierter 3D-Webclient zur kollaborativen Planung energetischer Maßnahmen am Beispiel von Berlin und London.

In: KOLBE, T.H., BILL, R., DONAUBAUER, A. (Hrsg.) Geoinformationssysteme 2014, Wichmann Verlag, Heidelberg, 2014.