

# **MASTERARBEIT**

**Zur Erlangung des akademischen Grades**

**„Master of Science“**

**LoD3-Gebäudemodelle in Bayern –  
alternative technische Lösungsansätze**

Eingereicht im Juli 2014 an der Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Paris-Lodron-Universität Salzburg von

Sylvia Bratfisch

Betreuer und Gutachter an der Universität Salzburg:

Ao.Univ.-Prof. Mag. Dr. Josef Strobl

Betreuer am Landesamt für

Digitalisierung, Breitband und Vermessung in Bayern:

Dr.-Ing. Robert Roschlaub

Dipl.-Ing. Josef Dorsch

---

## Zusammenfassung

Dreidimensionale Gebäude- oder Stadtmodelle werden für die unterschiedlichsten Zwecke wie Simulationen oder Präsentationen benötigt. Für die Modellierung der 3D-Modelle existieren verschiedene Softwareprogramme. Nicht jede Software ist für die Modellierung eines bestimmten Detaillierungsgrades geeignet. Das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV) in Bayern produziert bis weilen Gebäudemodelle im LoD1 und LoD2 (Level of Detail). Das LDBV möchte die Veredelung des bestehenden 3D-Gebäudemodellbestandes für herausragende Landmarks beginnen. Daher werden in dieser Masterarbeit Kriterien gesammelt, die für einen Vergleich bestehender Softwarelösungen, deren praktischen Umsetzung zur Erstellung und Fortführung von 3D-Gebäudemodellen im Hinblick auf den Detailgrad im Level of Detail 3 (LoD3), benötigt werden. Um die Softwarepakete miteinander vergleichen zu können, wurde ein umfangreicher Fragenkatalog erarbeitet. Dieser beinhaltet allgemeine Kriterien über die Software sowie spezielle Anforderungen des LDBV. Es ist weiterhin wichtig, die Funktionalität des Programmes, zum Beispiel die Methoden der Modellierung, die Import- und Exportmöglichkeiten von Dateiformaten, zu kennen. Die 3D-Gebäudemodelle müssen sich für eine einheitliche Datenhaltung in einer Datenstruktur befinden, in der Objekte mit Eigenschaften und Beziehungen dokumentiert werden. Aus diesem Grund sollte sowohl für den Import als auch für den Export das internationale Standarddateiformat CityGML verwendet werden. Das Dateiformat CityGML geht über die Standards zur reinen Visualisierung von virtuellen 3D-Stadt- und Regionalmodellen hinaus. Es besitzt den Vorteil „der Integration semantische Information in Form von Metadaten und Sachattributen“ [17, Kulawik et. al., 2009]. Mit diesen und weiteren Anforderungspunkten ist eine Auswertung des Fragebogens möglich. Die folgenden Softwarepakete werden hinsichtlich einer praktischen Modellierung von 3D-Gebäudemodellen im LoD3 miteinander verglichen:

- CityEngine von ESRI,
- CityGRID® Modeler von UVM Systems,
- SketchUp von Trimble und
- tridicon® Architecture von 3DCon GmbH.

In beispielhaften 3D-Gebäudemodellierungen wurde für den Fragebogen herausgefunden, welche Anforderungen die Software bieten muss. Als praktisches Modell wurde der bayerische Landtag in München mit den Softwarepaketen CityGRID® Modeler und SketchUp modelliert. Die verschiedenen Datenerfassungsmethoden sind abhängig von der Genauigkeit der 3D-Gebäudemodelle [12, Gröger et. al., 2004]. Dafür diente als Ausgangsbasis das Modell des LoD2-Workflows. Das LoD2-Gebäudemodell wurde zuvor in der Software „BuildingReconstruction“ von virtualcitySYSTEMS GmbH (VCS) abgeleitet und nachbearbeitet. Die LoD3-Gebäudemodelle können aus wirtschaftlichen Gründen nicht bis ins kleinste Detail modelliert werden. Die Modellierung erfolgt auf die wichtigsten Elemente eines Gebäudes, das den optischen Eindruck des Originalgebäudes am besten widerspiegelt. Die Untersuchung dieser Arbeit beinhaltet deswegen noch den wirtschaftlichen Einsatzes der Software für das Bayerische Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung.

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Motivation</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Einführung</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>9</b>
3.1	Was sind dreidimensionale Daten?	9
3.2	Entwicklung der 3D-Gebäude-/Stadtmodelle	9
3.3	Erfassung von LoD2-Gebäuden in Bayern	11
3.4	Befliegung und Aufnahme der Daten	13
3.4.1	Airborne Laserscanning	13
3.4.2	Punktklassifizierung	15
3.5	Grundbegriffe der 3D-Modellierung	16
3.6	Datenformate	17
<b>4</b>	<b>Softwarepakete zur LoD3-Gebäudemodellierung</b>	<b>20</b>
4.1	CityEngine von Esri	20
4.2	tridicon® Architecture von 3DCon GmbH	21
4.3	CityGRID® Modeler von UVM Systems	21
4.4	SketchUp von Trimble	27
<b>5</b>	<b>Präprozessierung</b>	<b>29</b>
5.1	Benötigte Daten für die Erstellung des LoD2-Gebäudes	29
5.1.1	Digitales Geländemodell	29
5.1.2	Digitales Oberflächenmodell	30
5.1.3	Digitale Flurkarte	30
5.1.4	Digitales Orthofoto	31

---

5.1.5	Farbcodiertes Rasterbild	31
5.1.6	Fassaden Fotos	32
5.2	BuildingReconstruction	32
5.3	Erstellung der Gebäude im LoD2	34
<b>6</b>	<b>Beispielhafte 3D-Gebäudemodellierung im LoD3</b>	<b>39</b>
6.1	LoD3-Bearbeitung im CityGRID® Modeler	39
6.1.1	FME-Konvertierung	39
6.1.2	Modellierung	40
6.1.3	Texturieren der Gebäudeflächen	46
6.1.4	Ergebnis	48
6.2	LoD3-Bearbeitung in SketchUp	49
6.2.1	Modellierung	49
6.2.2	Texturieren der Gebäudeflächen	53
6.2.3	Ergebnis	54
6.3	Bewertung	55
<b>7</b>	<b>Vergleichsstudie</b>	<b>56</b>
7.1	Erstellung des Fragebogens	56
7.2	Vorbemerkung zur Auswertung des Fragebogens	61
7.3	Auswertung des Fragebogens	61
7.4	Methoden zur Modellierung und deren Werkzeuge	77
<b>8</b>	<b>Fazit</b>	<b>78</b>
<b>9</b>	<b>Danksagung</b>	<b>79</b>
<b>10</b>	<b>Erklärung zur Masterarbeit</b>	<b>80</b>

---

<b>11</b>	<b>Verzeichnisse</b>	<b>81</b>
11.1	Literatur	81
11.2	Internetquellen	84
11.3	Abbildungen	85
11.4	Tabellenverzeichnis	88
11.5	Abkürzungen	89
<b>12</b>	<b>Anhang</b>	<b>91</b>
12.1	Fragenkatalog	91
12.2	Kostenanalyse der Lizenzen	98

## 1 Motivation

In vielen verschiedenen Bereichen öffentlicher Verwaltungsbehörden und in der Privatwirtschaft werden dreidimensionale Gebäude- und Stadtmodelle verwendet. 3D-Stadtmodelle sind ein Trend in der Geoinformatik [7, Bleifuss, 2010]. Der Aufbau von nachhaltigen dreidimensionalen Geobasisdaten kann nur gelingen, in dem die vier Kernkriterien: Wirtschaftlichkeit, Flächendeckung, Aktualität und Interoperabilität, erfüllt werden können [37, Willkomm, 2010]. Jedoch müssen diese Kriterien auch im Gesamtprozess betrachtet werden. Die Erstellung und Visualisierung von 3D-Stadtmodellen kann je nach Anforderungen in unterschiedliche Detaillierungsstufen (Level of Detail, LoD) erfolgen, dadurch können diese sehr komplex und zeitaufwendig in der Modellierung und Texturierung werden. Es existieren größtenteils flächendeckende Stadtmodelle im Klötzchenmodell (LoD1), da diese sehr schnell abzuleiten sind. Ebenfalls können Stadtmodelle mit Dachformen (LoD2) versehen werden. Hohe detailliertere Gebäudedarstellungen mit fotorealistischer Textur sind hervorgehobene einzelne Gebäude oder Gebäudekomplexe im LoD3. Diese werden auch als Landmarks, zu Deutsch als Sehenswürdigkeiten, bezeichnet. Der Aufwand zur Erstellung dieser einzelnen Gebäude ist bedeutend höher.

Das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV) in Bayern beabsichtigt ausgewählte Gebäudemodelle im LoD3 mit Textur für einen langfristigen Nutzen zu erstellen. Dafür ist es erforderlich zu prüfen, welche Softwarepakete auf dem Markt den festgelegten Anforderungen des LDBV entsprechen. Zu berücksichtigen sind dabei sowohl Aspekte der 3D-Modellierung als auch wirtschaftliche Aufwendungen bei der Wahl des Softwarepaketes. Dazu zählen mögliche weitere Softwarepakete, die für den Import und Export eines 3D-Gebäudemodells im CityGML-Format benötigt werden. CityGML ist ein semantisches Modell von virtuellen Stadtmodellen und wird in der Praxis immer mehr verwendet [20, Löwner et. al., 2013]. Es können neben den Stadtmodellen auch einzelne Gebäude, Regionen oder Länder verwaltet werden. Dieser Standard wird von der OGC (Open Geospatial Consortium), einer der wichtigsten Organisationen zur Standardisierung in der Geoinformationstechnologie, herausgegeben [19, Löwner et. al., 2012]. Aber auch an die aufzuwendende Zeit für das Erlernen eines neuen Programmes ist zu denken.

Es ist ebenfalls sehr interessant zu untersuchen, welche Werkzeuge und Methoden für die Modellierung der 3D-Gebäude in den einzelnen Softwarepaketen verwendet werden; wie sind die jeweiligen Funktionsweisen und wie sind diese handelbar?

Im Rahmen dieser Arbeit werden verschiedene Softwarepakete für die Erstellung von dreidimensionalen Gebäude- und Stadtmodellen untersucht und Kriterien festgelegt, die wirtschaftlichen Aspekte bei der Auswahl eines Softwarepaketes zu berücksichtigen.

## 2 Einführung

Das Interesse für die Nutzung von dreidimensionalen Gebäudemodellen in den unterschiedlichen Detaillierungsgraden (Level of Detail) steigt in vielen Bereichen an. Ein Stadtmodell kann in fünf verschiedenen Detaillierungsgraden (LoD) dargestellt werden. Diese können zum Beispiel auf der Basis von CityGML, einem anerkannten OGC-Standard, ausgespielt, gespeichert oder dargestellt werden (vergleiche Abb. 1).

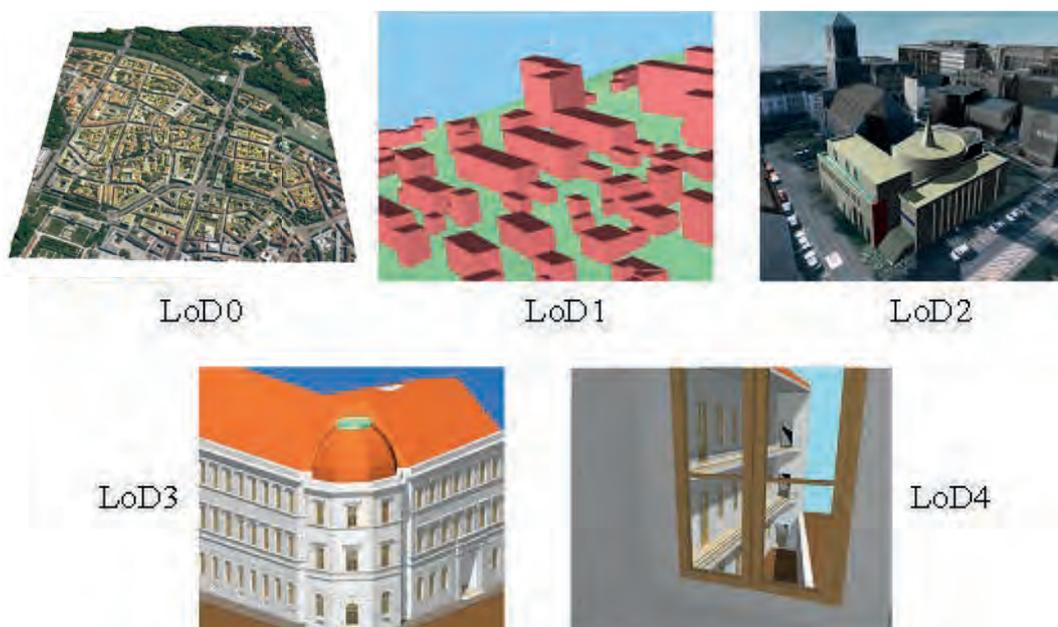


Abb. 1: Level of Detail von LoD0 bis LoD4 [Kolbe]

Die Detaillierungsgrade werden wie folgt klassifiziert [24, Open Geospatial Consortium, 2012]:

- LoD0 Hausumringe mit Geländemodell
- LoD1 Stadtmodell, Klötzchenmodell ohne Dachstrukturen
- LoD2 Stadtmodell mit Dachstrukturen und Textur
- LoD3 detaillierte Architekturmodelle
- LoD4 detaillierte Architekturmodelle mit Innen- und Außenmodellierung

Teilweise existieren 3D-Gebäudemodelle in der Detaillierungsstufe LoD1 flächendeckend, zum Beispiel für ganz Bayern. Das Land Bayern und die Stadt Zürich beabsichtigen die Erstellung von 3D-Gebäudemodellen im Detaillierungsgrad LoD3. Das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV) Bayern möchte eine Modellierung für besondere Landmarks im LoD3 in Bayern modellieren. Zur Erledigung dieser Aufgabe werden unterschiedliche Softwarepakete für die 3D-Gebäudemodellierung herausgesucht. Die am Markt befindlichen Softwarepakete für die niedrigeren Detaillierungsgrade haben meist keine Funktionen, um die höheren Detaillierungsgrade zu modellieren.

Daher wird in dieser Masterarbeit eine Vergleichsstudie der vier folgenden Softwarepakete:

- CityEngine von ESRI,
- CityGRID® Modeler von UVM,
- SketchUp von Trimble und
- tridicon® Architecture von 3DCon GmbH,

für den Detaillierungsgrad im LoD3 durchgeführt.

Die meisten Landmarks sind komplexe Gebäude. Deswegen muss jedes Gebäude individuell bearbeitet werden. Aus Sicht der Nutzer muss vor jeder Modellierung festgelegt werden, was für das Gebäude wichtig ist und auf welche Details im Allgemeinen verzichtet werden kann. Nicht alle 3D-Gebäudemodelle können hoch detailliert modelliert werden. Es muss die Charakteristik eines Gebäudes „herüber gebracht“ werden bzw. erhalten bleiben und dabei soll der Aufwand wirtschaftlich vertretbar sein. Zum Beispiel verwendet die Stadt Bochum für die manuelle Fortführung von Gebäudemodellen die kostengünstige Software SketchUp [13, Jung et. al., 2013]. Für die Ableitung eines 3D-Gebäudemodells werden verschiedene Geodaten benötigt. Diese werden genauer erläutert und teilweise mit ihren dazugehörigen Aufnahmeverfahren beschrieben. Für einen langfristigen Nutzen muss eine zentrale Datenhaltung möglich sein, die die 3D-Gebäudemodelle speichern und in unterschiedlichen Datenformaten ausgeben kann. Aus diesen und noch weiteren Gründen werden hier verschiedene Datenformate für den möglichen Import und Export beschrieben.

Als Basis für die LoD3-Modellierung wird das 3D-Gebäudemodell im Detaillierungsgrad LoD2 in dem standardisierten Datenformat CityGML ausgegeben. Eine Standardschnittstelle in der 3D-Gebäudemodellierung ist das Datenformat CityGML. Dieses wird nicht nur für Präsentationszwecke, sondern kann auch für anspruchsvolle Analyseschritte verwendet werden. Das LoD2-Modell wird im LDBV mit dem Softwarepaket BuildingReconstruction von virtualcitySYSTEMS abgeleitet und gegebenenfalls nachbearbeitet. Zwei Softwarepakete mit ausreichenden Erstellungsmethoden für 3D-Gebäudemodellierung, die vor der Vergleichsstudie am geeignetsten und wirtschaftlichsten für eine Modellierung erscheinen, werden am Beispiel des Bayerischen Landtages in München getestet. Dazu werden umfangreiche Softwarepakete mit ausreichenden Erstellungsmethoden für 3D-Gebäudemodellierung benötigt.

*Anmerkung zur Masterarbeit*

*Alle Abbildungen die nicht mit einer Quelle angegeben sind, wurden eigenständig erstellt. Für die Abbildungen wurden unter anderem die vom LDBV bereitgestellten Daten verwendet.*

## 3 Grundlagen

In den nachfolgenden Abschnitten werden allgemeine Grundlagen und Begriffe vom Beginn der Geodatengewinnung, über die Entwicklung bis hin zur 3D-Modellierung und deren späteren Nutzen erläutert.

### 3.1 Was sind dreidimensionale Daten?

Geoinformationssysteme (GIS) und Geodaten beinhalten nur zweidimensionale Dateninformationen für Objekte mit den Koordinatenwerten für  $x$  und  $y$ . Für die Dreidimensionalität müssen die Daten jedoch mit einer Höhenangabe, also mit einem  $z$ -Wert, versehen werden. „Dabei ist zu unterscheiden hinsichtlich eines 3D-Linienmodells, eines 3D-Flächenmodells und eines 3D-Volumenmodells [6, Bill, 2010].“ Ein 3D-Gebäudemodell wird begrifflich unter einem 3D-Volumenmodell geführt. Wird diese Dimension noch um den Faktor Zeit  $t$  ergänzt, können damit Simulationen erstellt werden.

### 3.2 Entwicklung der 3D-Gebäude-/Stadtmodelle

Seit hunderten von Jahren werden 3D-Stadtmodelle in irgendeiner Art, ob als Pseudo-3D-Darstellung in Form einer Zeichnung oder einem „Echt“-3D-Verfahren in Form eines realen Modells zum Anfassen, angefertigt. Der Grund dafür ist, dass sich durch eine 3D-Visuallisierung eine bessere räumliche Vorstellung erzielen lässt. Die räumliche Wahrnehmung der realen Welt entsteht im Parallaxe-Verfahren durch einen kleinen Versatz zweier Bilder. Aus diesen beiden Blickrichtungen kann ein räumliches Bild mit Tiefenwirkung zusammengesetzt werden. Weitere Verfahren zur dreidimensionalen Wahrnehmung sind das Anaglyphenverfahren, das Polarisationsverfahren oder das Shutterverfahren. In der Kartographie werden heutzutage für touristische Zwecke immer häufiger Karten mit sehenswerten Gebäuden in einer Pseudo-3D-Darstellung visualisiert. Schon im Jahre 1576 zeichnete Jos Murer einen Stadtplan der Innenstadt von Zürich in einer Pseudo-3D-Darstellung [29, Reimers, 2010]. Von Zürich gibt es verschiedene Stadtmodelle, zum einen zwei Holzmodelle, die die Jahre 1800 und 1960 darstellen und weiterhin ein Stadtmodell im Maßstab 1:1000. Im Unterschied zum Bild steht in München ein Tastmodell aus Bronze, das die Münchner Altstadt widerspiegelt. Der Kupferstecher Michael Wening erhielt im Jahre 1696 von Kurfürst Max Emanuel den Auftrag das Kurfürsten- und Herzogtum Ober- und Niederbayern mit seinen Ortschaften, Schlösser, Klöster und Kirchen zu skizzieren. Die Wening-Ansichten sind sehr detailgenaue Bilder [I-Quelle 8, LDBV].

Die digitalen 3D-Gebäudemodelle müssen sich für eine langfristige Verwendbarkeit in einer strukturierten und zentralen Datenhaltung befinden. Daher werden allgemeine Produktstandards und Richtlinien für die 3D-Gebäudemodelle entwickelt. Die Special Interest Group 3D (SIG 3D) entwickelte seit 2002 das Austauschformat CityGML. Es ist ein geometrisch-semantisches Informationsmodell für 3D-Stadtmodelle. 2008 wurde die Version 1.0 des CityGML von der OGC (Open Geospatial Consortium) als Standard festgelegt [I-Quelle 12, SIG 3D]. Die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltung der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) hat 2012 einen Produktstandard für 3D-Gebäudemodelle auf der Basis von CityGML 1.0. festgelegt. Die AdV entwickelt auch den Produktstandard für die 3D-Gebäudemodelle im LoD1 und LoD2 [1, AdV, 2013]. Die 3D-Gebäudemodelle im LoD1 sollen grundsätzlich aus den Gebäudegrundriss-Daten des amtlichen digitalen Liegenschaftskataster und einem Flachdach gebildet werden. Für die 3D-Gebäudemodelle im LoD2 werden standardisierte Dachformen verwendet [3, Aringer et. al., 2013]. Mit einer Erweiterung des bestehenden AAA-Modells (1. A: Amtliches Festpunkt-Informationssystem (AFIS), 2. A: Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS), 3. A: Amtliches Topografisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS)) in Deutschland,

können die 3D-Gebäudeobjektinformationen in das Liegenschaftskataster übertragen werden. Dieses Modell besitzt festgelegte länderübergreifende Eigenschaften. Als Standardschnittstellen dienen hier die Formate Shapefile, CityGML, KML und NAS [4, Aringer et. al., 2011]. Mit der EU-Richtlinie „Infrastructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE)“ wird eine Grundlage für eine gemeinsame Geodateninfrastruktur in Europa geschaffen. Der thematische Bezug für 3D-Gebäudemodelle befindet sich in der Richtlinie 2007/2/EG im Anhang I unter Koordinatenreferenzsystem, im Anhang II unter Höhe und im Anhang III unter Gebäude [30, Richtlinie 2007/2/EG]. Auf dieser Richtlinie bauen viele digitale 3D-Gebäudemodelle in ganz Europa auf. So gibt es in Österreich für die Städte Wien und Graz dreidimensionale Stadtmodelle in verschiedenen Detaillierungsgraden. In Deutschland wurden zum Beispiel die Städte Berlin, Hamburg und Köln modelliert. Ein weiterer Standard zur Beschreibung von Gebäudemodellen im Bereich Bauwesen ist die Industry Foundation Classes (IFC), die von der buildingSMART entwickelt wurden und als offizieller ISO-Standard (ISO 16739:2013) anerkannt ist [I-Quelle 4, buildingSMART].

Die Nutzung der 3D-Gebäudemodelle ist sehr vielfältig, so können diese für Präsentationszwecke, Simulationen und Analysen verwendet werden. Durch die Zunahme von Naturkatastrophen steigen jährlich die Schadenswerte in Milliarden. In einem Kooperationsprojekt der Munich Re und der LMU München [32, Simon, 2012] wurden Überschwemmungsmodellierungen auf Basis amtlicher Geobasisdaten durchgeführt. Die daraus folgenden Ergebnisse wurden analysiert, und somit konnten die Risiken eingeschätzt werden. Die Hochwassermodellierung erfolgte mit Gebäudemodellen im LoD1 und verschiedenen Geländemodellen. Das zur Simulation von Versicherungsschäden optimalste DGM, ist das DGM mit einer Gitterweite von 10 Metern (DGM10). Es hat vertretbare Höhenabweichungen und eine bedeutend geringere Datenmenge zu einem deutlich höher aufgelösten Geländemodell von einem Meter. Den Gebäuden können beliebige Informationen hinzugefügt werden, die die Schadenshöhe der Vulnerabilität beeinflussen, wie zum Beispiel: Gebäudehöhe, -fläche, -typ, -nutzungsdaten, -material, -funktionen und Baujahr. Für jedes einzelne überflutete Gebäude kann somit die Wassertiefe und der Schadenwert ermittelt werden. Durch solche Simulationen können aber auch präventive Hochwasserschutzmaßnahmen getroffen werden.

Bei Unwettern und Hagel können an Gebäuden und deren Aufbauten, wie zum Beispiel Photovoltaikanlagen, Schäden entstehen. Diese Schäden können mit Gebäudemodellen im LoD2 analysiert werden.

Weitere Nutzungen und Simulationen für 3D-Gebäudemodelle sind: Lärmmodellierung, Stadt-, Landschafts- und Funknetzplanung, Navigation, Immobilienvermittlung, Solarpotentialanalyse, Katastrophenschutz, Risikoabschätzung, vorbeugende Brandschutzmaßnahmen, Verschattungsanalyse, Energiebedarfsanalyse, Marketingzwecke, touristische Zwecke und der Spieleindustrie. Der Nutzen eines 3D-Stadtmodelles steigt durch die Verknüpfung von weiteren Geobasisdatensätzen wie Baumkataster, Fassadenbilder, Brücken oder Stege [29, Reimers, 2010].

Der Aufbau von dreidimensionalen Stadtmodellen sollte im Internet ausgebaut werden. Ein Problem bei der Verwendung einer CityGML ist es, dass es kein spezifisches Grafikformat ist und daher sind keine effizienten Grafikprogramme für die Darstellung der Daten verfügbar. Weiterhin ist zum Beispiel eine Datei mit 140.644 Gebäuden eines Bonners Stadtgebietes 722 MB groß, was für eine Übertragung der Daten ungeeignet ist. Im Rahmen des Projektes GDI-3D für Heidelberg wurde ein Lösungsansatz entwickelt, der den 3D-Visualisierungsdienst Web 3D Service (W3DS) und den dazugehörigen 3D-Client „XNavigator“ beinhaltet sowie das VRML-Datenformat für die Darstellung verwendet. Eine Erweiterung erfolgt über die Schnittstelle CityGML. Die CityGML-Daten werden in einem Konverter für das W3DS aufbereitet [17, Kulawik et. al., 2009]. Kolbe sieht bei der Verwendung des VRML-Datenformates ein Problem bei der Weiterverwendung durch

nicht autorisierte Personen und empfiehlt ein digitales Wasserzeichen für VRML oder die Verwendung eines anderen 3D-Datenformates [15, Kolbe, 2004].

Ab 2007 fordert die EG-Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG die Berechnungen von Schallemissionen und deren visuelle Darstellung in Lärmkarten. Die Ausarbeitungen der Schallemissionen sind für Straßen, den Flugverkehr, Bahnschienen und Industrieanlagen vorzulegen. Die Geodateninfrastruktur Nordrhein-Westfalen (GDI-NRW) arbeitet an dem Ausbau des Web Services für Umgebungslärm. Die 3D-Geodaten wie zum Beispiel die 3D-Gebäudemodelle im LoD1, das DGM und Straßen im CityGML-Datenformat werden verwendet [8, Czerwinski et. al., 2007 und 9, Czerwinski et. al., 2008].

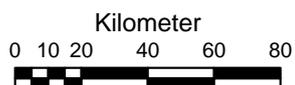
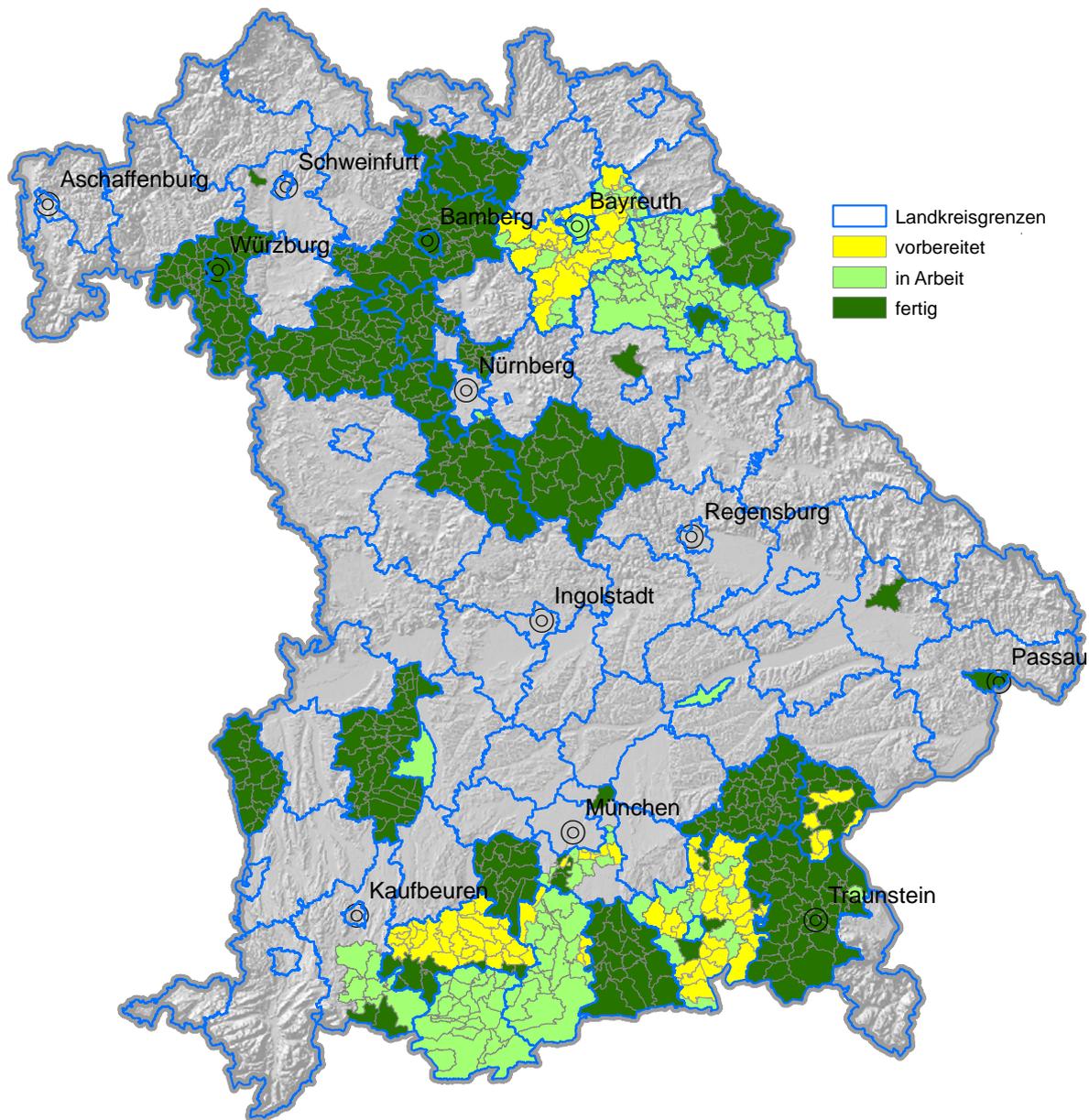
### 3.3 Erfassung von LoD2-Gebäuden in Bayern

In Bayern sind über 8,1 Millionen Gebäude im Liegenschaftskataster der Digitalen Flurkarte (DFK) eingetragen. Nur in Bayern wird die Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) als DFK bezeichnet. Seit 2012 wird in Bayern ein 3D-Gebäudemodell im LoD2 erstellt. Die Erstellung der Gebäudemodelle wird gemeindeweise bearbeitet. „Die Datenhaltung des 3D-Gebäudemodells erfolgt in einer zentralen Datenbank unter Verwendung eines deutschlandweit standardisierten Datenschemas und der Datenaustauschnittstelle CityGML [3, Aringer et. al., 2013].“ Die Erfassung soll innerhalb von 5 Jahren abgeschlossen sein. Die automatische Gebäudeableitung und Nachbearbeitung erfolgt mit dem Softwareprogramm BuildingReconstruction (BRec) der Firma virtualcity-SYSTEMS. Für die Ableitung und Nachbearbeitung werden ein Digitales Geländemodell (DGM), Digitales Oberflächenmodell (DOM), die Gebäudegrundrisse der DFK, ein Digitales Orthofoto (DOP) und ein farbcodiertes Rasterbild des DOM verwendet. Die Definition sowie die Anforderungen an ein DGM, die Erfassung der Sensoren wie Kameras, Radar oder Laser, können in der DIN 18740-6 nachgelesen werden [11, DIN, 2013]. Für die Erstellung werden die Gemeinden in Kacheln aufgeteilt. Bayern besteht aus 7 Regierungsbezirken und ist unterteilt in 71 Landkreise. Insgesamt befinden sich 2.056 Städte und Gemeinden in ganz Bayern. Zur Bearbeitung der 3D-Stadtmodelle werden die Bearbeitungsgebiete in Kacheln der Größe von 1 km x 1 km aufgeteilt. Zu jeder bearbeiteten Kachel kommt ein 100 m breiter Rand hinzu, damit große Gebäude, die über den Rand hinausragen, ebenfalls bearbeitet werden können. Um zu verhindern, dass die Gebäude doppelt bearbeitet werden, wird beim Exportieren aus der Datenbank den Gebäuden eine Objektidentifikationsnummer (OID-Nummer) zugewiesen. Somit weiß die Datenbank, ob ein Gebäude schon einmal mit in einem Pufferbereich ausgespielt wurde oder nicht. Insgesamt müssen über 70.000 Kacheln bearbeitet werden. Die Nachbearbeitung ist abhängig von der Punktdichte des Laserscannings, der Bebauungsdichte und der Bebauungsart. Eine Editierungsrate im Altstadtkern beträgt zwischen 50 % und 60 %, in einem ländlichen Gebiet sind es zwischen 15 % bis 30 %. Der aktuelle Arbeitsstand der 3D-Gebäude im LoD2 kann über eine Internetseite (siehe Bezugsquelle der Abb. 2) der Bayerischen Vermessungsverwaltung abgerufen werden.



# LoD2 Arbeitsstand

1:1.800.000



Landkreise vollständig bearbeitet: 22  
 Fertig bearbeitete Gemeinden: 587  
 Fertig bearbeitete Gebäude: 2311745

Abb. 2: Aktueller Arbeitsstand der 3D-Gebäude im LoD2 in Bayern [LDBV]

### 3.4 Befliegung und Aufnahme der Daten

Aus den vorhandenen Geobasisdaten wird die erste Ableitung der Gebäude durchgeführt. Dabei können Gebäudeveränderungen in der DFK schon eingetragen sein, die noch nicht in den Laserscanning Daten erfasst sind. Für diese Gebäude werden Flachdächer mit einer Standardhöhe, wie im LoD 1, modelliert. Eine Aktualisierung der Gebäudehöhen und Dachformen erfolgt nach einer terrestrischen Gebäudeeinmessung oder mit Hilfe eines bildbasierten Digitalen Oberflächenmodells (bDOM).

#### 3.4.1 Airborne Laserscanning

Das Airborne Laserscanning (ALS) wird auch als LiDAR (Light Detection And Ranging) bezeichnet. Das Fernerkundungssystem tastet mit einem Laserstrahl die Geländeoberfläche Zeile für Zeile ab und speichert die dreidimensionalen Punktkoordinaten. Als Flugobjekt kann bei einer großräumigen Geländeerfassung ein Flugzeug in einer Höhe zwischen 500 m und 1000 m eingesetzt werden. Falls eine geringere Fläche aufgenommen werden soll, kann ein Hubschrauber in einer Flughöhe von ungefähr 200 m verwendet werden.

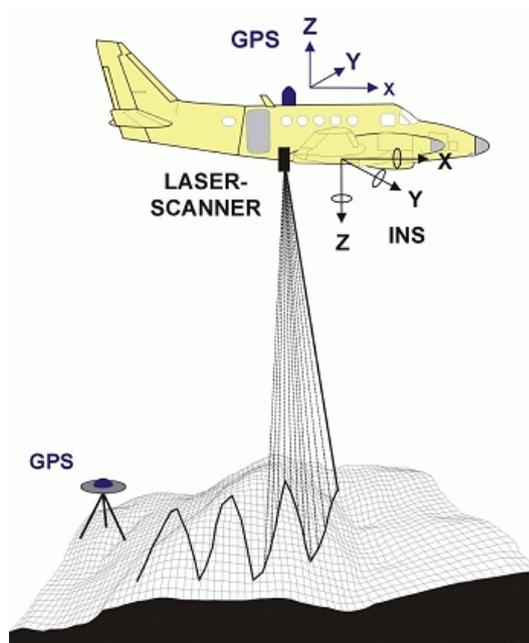


Abb. 3: Funktionsweise des Airborne Laserscannings [Stadtvermessung Wien]

Mit der Sensorpositionierung und Sensororientierung, der mittels Global Navigation Satellite Systems (GNSS) und Inertial Navigation System (INS) erfassten Daten, wird die Position und die Orientierung im Raum bestimmt [2, Albertz, 2007]. GNSS fasst alle satellitengestützten Positionierungssysteme zu einem Begriff zusammen, so gehört auch das Global Positioning System (GPS) dazu. Mit dem GPS-Verfahren ist es möglich, einen Standort mit den Koordinaten der geographischen Länge, geographischen Breite, Höhe und der Zeit zu bestimmen. Das Sensorsystem INS, auch als Trägheitsnavigationssystem bekannt, befindet sich in einem Flugzeug. Es bestimmt die Messung der Positionsänderung sowie der Orientierungsänderung eines Flugzeuges. „Die Genauigkeit der derzeit eingesetzten Systeme liegen bei einer Flughöhe von ca. 1.000 m bei 0,05 m in x und y-Richtung und 0,1 m in z-Richtung [6, Bill, 2010].“

Mit dem kurzwelligen Strahlungsbereich kann bei einer Aufnahme eine atmosphärische Beeinträchtigung entstehen. Die Wellenbereiche können im kurzwelligen Bereich des UV-Lichtes im Infrarot und im sichtbaren Licht liegen. Für das aktive ALS ist kein schönes Wetter mit Sonnenschein unbedingt nötig, jedoch muss die Erdoberfläche zu sehen sein.

Ein Laserscanner kann in zwei Messprinzipien unterschieden werden. Die meisten Systeme werden von einem Laserstrahl oder mehreren Laserstrahlen über einen rotierenden oder kippenden Spiegel zur Erdoberfläche abgelenkt und wieder von einem optischen System aufgefangen [6, Bill, 2010]:

- *Gepulstes System*: Laserimpulse werden in gleichen Zeitabständen und mit derselben Intensität ausgesendet. Über die Laufzeit wird die Entfernung gemessen. Das gesendete Signal kann über die erste Reflexion (First-Echo) und letzte Reflexion (Last-Echo) getrennt gemessen werden. Die First-Echo-Punkte nehmen das Bedeckungsprofil auf und die Last-Echo-Punkte das Bodenprofil (siehe Abb. 4). Bei modernen Scannern können bis zu 200.000 Einzelmessungen pro Sekunde aufgenommen werden.

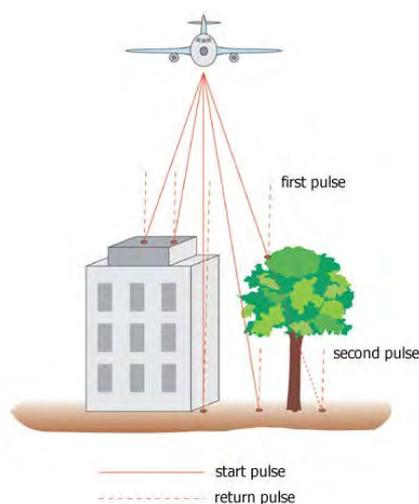


Abb. 4: Airborne Laserscanning [Terra Imaging]

- *Continuous Wave Laserscanning*: Es wird permanent ein Laserimpuls mit einer konstanten Schwingungsdauer gesendet. Durch die Phasendifferenz wird die Entfernung ermittelt.

Das gepulste System ist auf Grund der Durchdringungsrate in Waldgebieten besser geeignet als das Messprinzip Continuous Wave Laserscanning. Der Öffnungswinkel für eine flächenhafte Abtastung liegt bei 10°.

Der Haupteinsatzbereich von ALS ist die Erstellung eines Digitalen Geländemodells (DGM) oder eines Digitalen Oberflächenmodells (DOM). Das DGM wird mit den erfassten Last Pulsen (Last-Echo) der Erdoberfläche und das DOM mit den erfassten First Pulsen (First-Echo) der Erdoberfläche mit Vegetation erstellt.

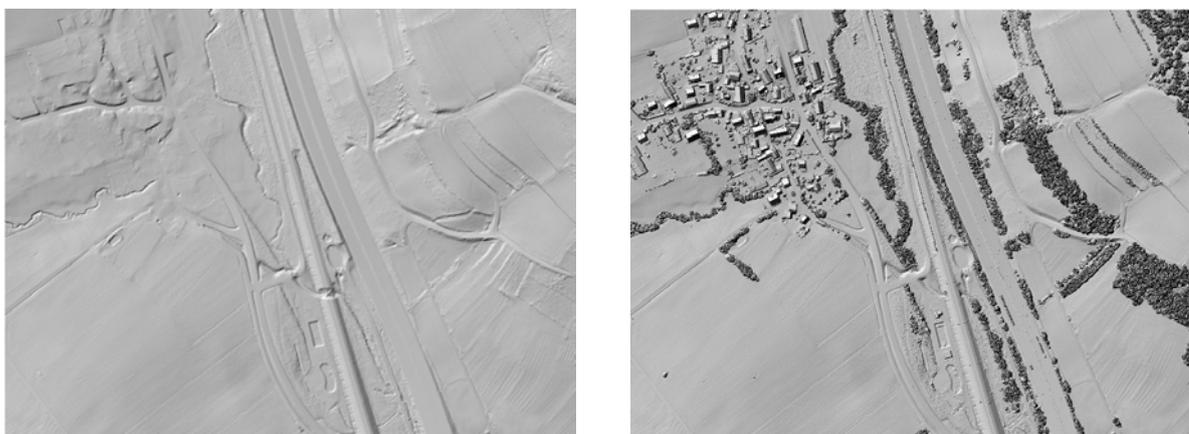


Abb. 5: Digitales Geländemodell und Digitales Oberflächenmodell der gleichen Region [LDBV]

Ein regelmäßiges Digitales Geländemodell mit einer Auflösung von einem Meter (DGM1) wird folgendermaßen berechnet: In einer Rasterzelle, die die Größe von 1 m x 1 m besitzt, wird ein aussagekräftiger Punkt aus den etlichen umgebenen Punkten des Quadratmeters interpoliert. Mit den Laserscanpunkten können neben der Berechnung eines DGM die Dachstrukturen eines 3D-Gebäudes ermittelt werden. Dafür sollten jedoch mehrere Laserscanpunkte pro Quadratmeter vorhanden sein. „Für Bayern stehen seit 2012 landesweit LiDAR-Daten mit einer Punktdichte zwischen 1 und 4 Punkten/m<sup>2</sup> zur Verfügung, (...) [3, Aringer et. al., 2013].“ Die erste LiDAR-Aufnahme der Landesvermessung in Bayern fand im Jahre 1996 statt. Auf Grund der enormen Kosten für eine Befliegung ist es nicht möglich, eine regelmäßige zyklische Befliegung durchzuführen. Daher können die LiDAR-Daten bis zu sieben Jahre alt sein. Das LDBV führt deswegen für die Aktualität der Daten eine Bildkorrelation (Image Matching) durch. Dafür wird ein bildbasiertes Digitales Oberflächenmodell (bDOM) aus den Luftbildern der Bayernbefliegung abgeleitet. In einem 3-Jahres Zyklus wird pro Jahr 1/3 der Fläche von Bayern mit einer Überdeckung der Luftbilder von 75 % in der Längsrichtung und einer Querrichtung von 35 % aufgenommen.

### 3.4.2 Punktklassifizierung

Laserscanpunkte können verschieden klassifiziert werden. In Bayern werden zwischen Bodenknoten der Punktklasse 1, nicht zuzuordnenden Punkte in Bodennähe der Punktklasse 2, Objektpunkte der Punktklasse 3 und Gebäudepunkte der Punktklasse 4 unterschieden [I-Quelle 9, LDBV]. Die Punktklasse 4 ermittelt sich aus den Last-Echo-Punkten, die sich innerhalb der Gebäudegrundrisse in der DFK befinden. In der Abb. 6 werden die Last-Echo-Punkte für die Gebäudepunkte in Rot und die Geländepunkte in Orange dargestellt. Die First-Echo-Punkte für die Vegetation sind mit der Farbe Grün eingefärbt.

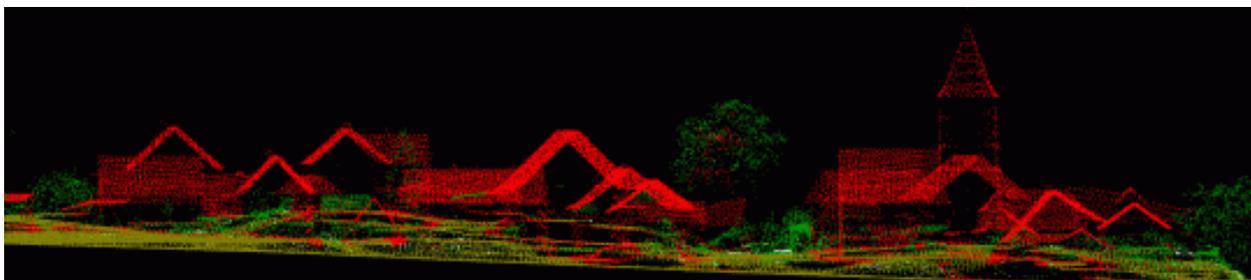


Abb. 6: Klassifizierung der Laser-Punkte [LDBV]

### 3.5 Grundbegriffe der 3D-Modellierung

3D-Objekte bestehen aus Knoten, Kanten und Flächen. Weitere Bezeichnungen sind in der „Abb. 7: Basiselemente eines 3D-Objektes“ enthalten. Ein Knoten ist ein Eckpunkt/Scheitelpunkt, der als Koordinatenpunkt einer Kante beziehungsweise eines Polygons dient. Er speichert nicht nur die Positionsangabe des dreidimensionalen Objektes, sondern auch die Texturkoordinaten oder Farbe. Kanten entstehen durch zwei Knoten, die mit einer geraden oder gekrümmten Linie miteinander verbunden sind. Mindestens drei Kanten ergeben ein geschlossenes Polygon. Im CityGRID® Modeler beziehungsweise im 3ds Max gibt es extra Buttons zum Selektieren eines bestimmten Elementes.

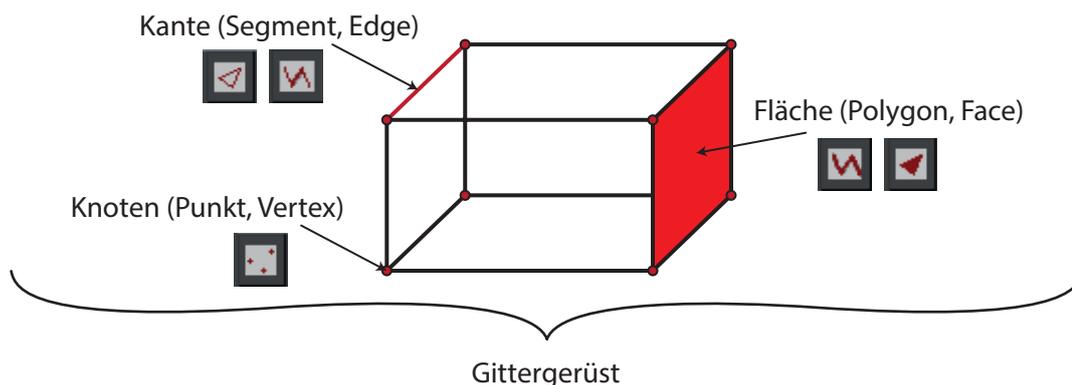


Abb. 7: Basiselemente eines 3D-Objektes

Dieses 3D-Objekt mit der Geometrie eines Rechteckes stellt ein Gebäude im Detaillierungsgrad LoD1, beziehungsweise ein Gebäude im höheren Detaillierungsgrad mit einem Flachdach dar. In CityGML kommt zu der Geometrie die Semantik hinzu, die jede einzelne Fläche eines Gebäudes definiert, wie zum Beispiel: Dach, Boden oder Wand. Auf jede Fläche kann eine unterschiedliche Textureigenschaft gespeichert werden. Die Textur wird über eine eindeutige Texturposition bestimmt. Die Texturkoordinaten verankern eine Textur über die Eckpunkte eines Polygons. Das Aufbringen einer 2D-Textur auf ein 3D-Objekt wird als Texture-Mapping bezeichnet.

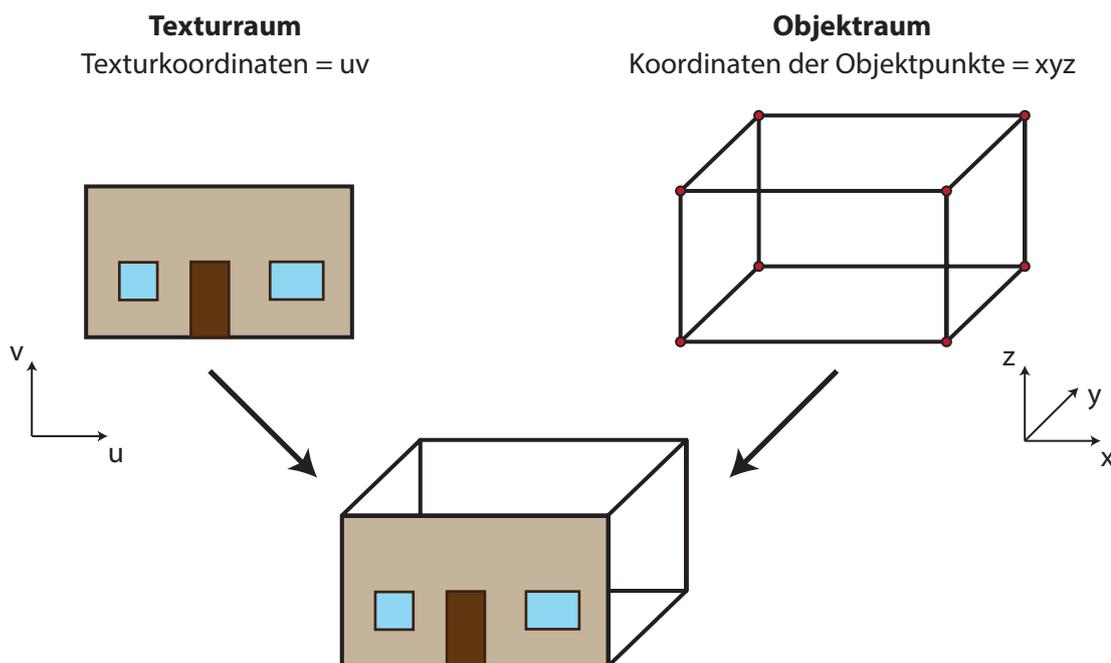


Abb. 8: Texture-Mapping

### 3.6 Datenformate

In der gesamten Arbeit werden verschiedene Datenformate erwähnt, die in diesem Abschnitt wie für den Import oder Export benötigten Datenformate erläutert. Die 3D-Gebäudemodelle können zum Beispiel aus der Datenbank des LDBV als CityGML, 3DPDF, 3DS, DXF, KMZ und 3DShape ausgegeben werden. Als Schnittstelle zwischen der Datenbank und der 3D-Modellierungssoftware für den Detaillierungsgrad LoD3 soll das Datenformat CityGML dienen, da es zum Beispiel weit über die Standards von KML und COLLADA hinausgeht. Falls eines der Softwarepakete keine CityGML-Datei einlesen kann, muss für diese eine Konvertierung, zum Beispiel mit der Software FME, vorgenommen werden.

#### CityGML

Das CityGML-Dateiformat (City Geography Markup Language) ist seit 2008 ein internationaler offener Standard des Open Geospatial Consortiums (OGC) und basiert auf der XML-Kodierung (Extensible Markup Language). Es wird als Basis zur Darstellung, Austausch und zur Speicherung von virtuellen 3D-Stadtmodellen und Landschaftsmodellen verwendet [I-Quelle 7, Kolbe, 2012]. Neben den fünf definierten Detailgraden (siehe Abb. 1) beschreiben die 3D-Objekte ebenfalls ihre Geometrie (Koordinaten), Topologie (Beziehungen), Semantik (Thematik) und ihr Erscheinungsbild. Durch die Geometrie sowie die topologischen und semantischen Aspekte können gezielte thematische und räumliche Anfragen ausgeführt werden [10, Drees et. al., 2006]. Es werden keine Linien, sondern Flächen gespeichert. CityGML basiert auf GML. Dadurch ist es möglich, die OGC Service: Web Service, Web Processing Service, Catalog Service und Web Feature Services zu nutzen. Weiterhin beruht CityGML auf der ISO 19100er-Normenfamilie [16, Kolbe, 2009].

Im März 2012 erschien der neue Standard mit einer inhaltlichen Erweiterung und weitere Feature-Typen des CityGML in der neuen Version 2.0.0. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein UML-Paketdiagramm mit den einzelnen Modulen des CityGML-Schemas. Die beiden Module Brücken und Tunnel sind neu hinzugekommen. Neben den beiden neuen Modulen kamen 41 neue Feature-Klassen und 203 Attribute hinzu.

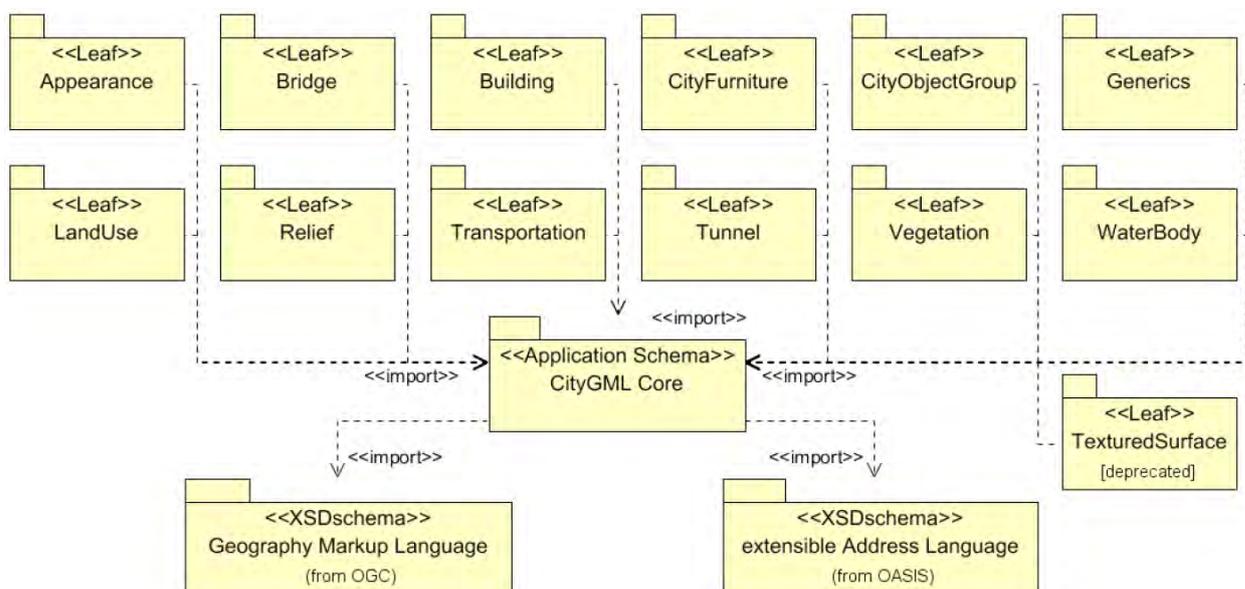


Abb. 9: Module des CityGML-Schemas [OGC]

Durch die Modularisierung und den fünf Detaillierungsgraden ist es stark skalierbar, somit können Städte, Regionen und Länder modelliert werden [19, Löwner et. al., 2012]. Mit der Einbindung

in zahlreiche Programme wie LandXplorer, FME, ESRI ArcGIS, Autodesk AutoCAD und vielen weiteren können die 3D-Gebäudemodelle zur Modellierung, Darstellung oder für anspruchsvolle 3D-Analysen genutzt werden. Am LDBV wird die CityGML Version 1.0 verwendet. Die CityGML-Klassen mit den festgelegten Attributen können durch generische Attribute erweitert und als freier Text definiert werden [19, Löwner et. al., 2012].

Die Bezeichnungen des Gebäudemoduls *Building* (Namensraum *bldg*) werden kurz definiert. Die Klasse *\_AbstractBuilding* enthält die semantischen Attribute wie zum Beispiel *yearOfConstruction*, *yearOfDemolition*, *storiesAboveGround* und *storyBelowGround*. Durch den *gml:CodeType* werden die externen Codelisten für *class*, *function*, *usage* und *rooftype* verwendet. Das Attribut *class* beinhaltet die Klassifikationen Wohnraum (*habitation*) oder Geschäft (*business*). *function* und *usage* enthalten Attribute über geplante sowie tatsächliche Nutzungen. In *rooftype* werden die Dachformen beschrieben. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Klassen der Begrenzungsflächen für ein Gebäude ab LoD2.

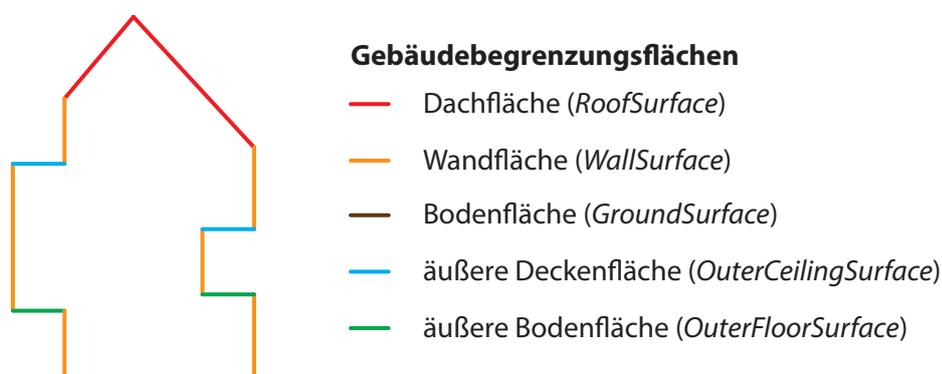


Abb. 10: Gebäudebegrenzungsflächen nach CityGML für Gebäude ab LoD2

In die Klasse *BuildingInstallation* gehören gebundene Bauteile an ein Gebäude wie Schornsteine, Gauben oder Balkone. Für den Detaillierungsgrad LoD3 werden die Klassen Fenster (*Window*) und Tür (*Door*) mit *\_Opening* modelliert [19, Löwner et. al., 2012].

### DXF/DWG

Die Firma Autodesk entwickelte das technische vektorbasierte Zeichenprogramm AutoCAD. Es entstanden für die CAD-Daten die beiden Dateiformate „.dxf“ und „.dwg“. Das Drawing Interchange File (.dxf) Format ist für den CAD-Datenaustausch von Zeichnungen zwischen verschiedenen Softwareprogrammen zuständig. Die Dateierdung „.dwg“ steht für „drawing“ und beinhaltet jegliche Informationen, die vom Benutzer in das CAD-Programm eingegeben werden.

### 3DPDF

Ein 3DPDF ist nur für die Visualisierung eines 3D-Objektes zuständig. Neben dem Zoomen ist es möglich, das 3D-Objekt zu verschieben und zu drehen. Die Darstellung ist im Adobe Reader ab Version 8 möglich.

### 3DS

Das binäre Dateiformat „.3ds“ ist ebenfalls von der Firma Autodesk. Es speichert die dreidimensionalen Informationen, wie die Koordinaten und die Textur.

### 3DShape

Das „.shp“ ist eine Entwicklung der Firma Esri und kann 2D-/2,5D-/3D-Geometriedaten (Punkt, Linie, Fläche) sowie Multipatch-Feature abspeichern. Von einem 2,5D-Objekt spricht man, wenn

ein 2D-Objekt in der Attributtabelle eine Spalte für die Höhe ausweist. Ein Multipatch-Feature ist eine Sammlung von gespeicherten Musterobjekten, die in einer Zeile der Datenbank stehen können [I-Quelle 3, ArcGIS]. Die in einem Shapefile gespeicherten Geometriedaten reichen zur Verarbeitung vollständiger Objekte nicht aus. Daher werden weiterhin die Dateien mit der Endung „.dbf“, die die Attributdaten in einer dateibasierten Datenbank enthält, sowie ein „.shx“ benötigt, die den Index zwischen den Attributdaten speichert. Außerdem kann eine Datei für das Koordinatensystem, in dem sich die Geodaten befinden, als „.prj“ vorliegen und eine „.cpg“, die den Zeichensatz erläutert.

## KML/KMZ

Der von der OGC anerkannte Standard „.kml“ (Keyhole Markup Language) ist eine Auszeichnungssprache und wurde von der Firma Google Inc. entwickelt. Die Geodaten können in Vektor-/Rasterform abgespeichert werden und zum Beispiel mit Google Earth geöffnet werden. Eine „.kmz“ ist eine komprimierte Datei einer kml-Datei.

## VRML

Virtual Modelling Language (VRML) „ist ein textbasiertes Dateiformat zur Beschreibung von interaktiven 3D-Objekten und 3D-Welten [6, Bill, 2010].“ Es ist ein Standard des World Wide Web Consortium. Mit einem Plug-in können die 3D-Objekte in jedem Internetbrowser angesehen werden. Eine VRML-Datei besitzt die Dateiendung „.wrl“, dieses steht für „world“.

## XML

In der erweiterbaren Auszeichnungssprache XML (Extensible Markup Language) wird der textliche Inhalt in einer strukturierten und hierarchischen Form gegliedert. Für die Darstellung von Geoinformationen ist XML ein Basisaustauschformat. Der Aufbau der Dateiform ist der von HTML sehr ähnlich. Es ist ein zentrales Datenaustauschformat zwischen den Plattformen, Organisationen und Applikationen. Jede XML-Datei muss bestimmten Regeln entsprechen und darf erst dann als wohlgeformt genannt werden, wenn die folgenden Punkte erfüllt sind: Alle Elemente haben einen Anfangs- und Endtag. Das äußerste Element ist das Wurzelement, es darf nur genau dieses eine Wurzelement geben. Mehrere Attribute dürfen nicht denselben Namen tragen. Außerdem muss es einen Verweis auf die Grammatik und das auf die Grammatik beschriebene Format haben. XML-Tags müssen eigens selbst erstellt werden und sind nicht vordefiniert. Ein XML-Dokument wird zu Beginn mit der Zeile 1 siehe Abb. 11 deklariert. Dieses Beispiel stellt ein Digitales Geländemodell nach der Konvertierung in der FME in eine XML-Datei dar.

```

1 <?xml version='1.0' encoding='ISO-8859-1' standalone='no'?>
2 <!DOCTYPE CityGrid SYSTEM 'CityGrid 1.28.dtd'>
3 <CityGrid> <!--xmlns:CityGrid='http://www.citygrid.at'-->
4   <Terrain>
5     <TerrainID>DTM Landtag</TerrainID>
6     <DTM>
7       <VertexList>
8         <TupleList dimension='3'>
9           <Tp>4469565.000,5332985.000,510.910</Tp>
10          <Tp>.....</Tp>
11         </TupleList>
12       </VertexList>
13       <FaceList>
14         <TupleList dimension='3'>
15           <Tp>0,1,2</Tp>
16           <Tp>.....</Tp>
17         </TupleList>
18       </FaceList>
19     </DTM>
20   </Terrain>
21 </CityGrid>

```

Abb. 11: XML-Datei eines Digitalen Geländemodells

### 4 Softwarepakete zur LoD3-Gebäudemodellierung

Um Softwarepakete für die Gebäudemodellierung im Detaillierungsgrad LoD3 beurteilen zu können, müssen zuvor Kriterien gesammelt werden. Diese müssen zum einen aus allgemeinen und wirtschaftlichen Anforderungen bestehen, die das Softwarepaket für die 3D-Gebäudemodellierung haben sollte. Zum anderen können die Softwarepakete nur inhaltlich verglichen werden, wenn einige für die Modellierung und das Texturieren erforderliche Funktionen bekannt sind. Aus diesem Grund sollten mindestens zwei Softwarepakete getestet und deren allgemeinen beziehungsweise speziellen Werkzeuge, die für die Gebäudemodellierung dienen, bekannt sein. Neben den Funktionen zur Modellierung sind vor allem die Handhabung und die Benutzerfreundlichkeit wichtig. Zum Beispiel muss eine preislich günstigste Software für ein Unternehmen nicht gleich eine geeignete Lösung für die 3D-Gebäudemodellierung sein. Eine komplexe Software die von den Mitarbeitern nur schwer zu verstehen ist, ist für ein Unternehmen nicht ratsam. Eine kostspieligere 3D-Modellierungssoftware kann möglicherweise daher besser geeignet sein. Das PreisLeistungsverhältnis wäre hier ein entscheidender Faktor für die Verwendung eines Softwarepaketes für die 3D-Gebäudemodellierung im LoD3. Weiterhin muss ein reibungsloser Arbeitsablauf vom Import der Daten bis zum Export und der anschließenden Nutzung garantiert werden. Dazu zählt vor allem die Verwendung des Datenformates CityGML.

Die Entscheidung, welche zwei Softwarepakete für die 3D-Gebäudemodellierung des bayerischen Landtages von den vier ausgewählten Softwarepaketen im Rahmen dieser Arbeit untersucht und verglichen werden sollten, lautet: Der CityGRID<sup>®</sup> Modeler der Firma UVM befindet sich zur Testphase am LDBV und soll besondere Stärken für die Gebäudemodellierung haben. Als zweites Programm wurde SketchUp von Trimble ausgewählt, da dieses für die nicht kommerzielle Anwendung kostenlos im Internet zur Verfügung steht und daher für einen wirtschaftlichen Einsatz an den Vermessungsämtern für die Modellierung von 3D-Objekten geeignet erscheint. Durch eine Testmodellierung der beiden Softwarepakete sind mögliche Probleme in der Benutzerfreundlichkeit und für die Erstellung von 3D-Gebäudemodellen festzustellen. Für die Verwendung eines Softwarepaketes können verschiedene Anforderungen sowohl an die Software als auch an die Hardware gestellt werden. Ferner müssen bestimmte Kenntnisse für die Verwendung der Software vom Benutzer erwartet werden. Die Softwarekenntnisse sollten sich zum Beispiel relativ schnell eigenständig aneignen lassen und durch Schulungen ergänzt werden.

In den folgenden Abschnitten werden kurz die Firmen mit deren Softwarepaketen beschrieben. Auf die beiden zu testenden Softwarepakete muss etwas genauer eingegangen werden, um einen Überblick im Allgemeinen und dessen Aufbau zu erlangen.

#### 4.1 CityEngine von Esri

Das Softwarepaket CityEngine wurde von der „Spin-Off Procedural Inc. der ETH Zürich entwickelt und im Jahre 2011 von der Firma Esri Inc. übernommen“ [23, Moser, 2013]. Die Firma Esri (Environmental Systems Research Institute) hat weltweit ihre Firmensitze, so auch einen in Deutschland. Das Softwareprodukt CityEngine ist eine „Stand-alone-Desktop-Software“ und hat ihren Einsatzbereich im „3D-Design, -Planung und -Modellierung städtischer Räume“ [I-Quelle 6, Esri]. Es können Gebäude, Gebäudekomplexe, Straßen oder ganze Städte dreidimensional modelliert werden [I-Quelle 5, Esri]. Die 3D-Stadtmodelle werden aus 2D-Vektordaten gebildet. Die CityEngine ist eine integrierte Teilerweiterung zu den Softwareprodukten von Esri für den 3D-Modellierungsprozess (siehe Abb. 12), vom Beginn bis zum Ende eines 3D-Stadtmodells.



Abb. 12: Übersicht über die Verwendung der einzelnen Softwarepakete im Zusammenhang [Esri]

Die Formen in der CityEngine werden mit der Skriptsprache OGA (Computer Generated Architecture) modelliert. Ähnliche Objekte können durch den prozedurale Modellierungs- und Regelansatz sehr schnell erstellt werden. In der Bibliothek befinden sich Pflanzen und Regeln für Gebäude, Fassaden, Dächer und Straßen [I-Quelle 6, Esri]. Mit dem Verändern einzelner Parameter ist es in kürzester Zeit möglich, unterschiedliche Szenarien zu erstellen.

### 4.2 tridicon® Architecture von 3DCon GmbH

Die Software tridicon® Architecture wurde von der 3DCon GmbH (ehemals GTA Geoinformatik GmbH) entwickelt. Die tridicon® Produktpalette ist umfangreich und bietet Lösungen für die Gebäudemodellierung, wie das Texturieren, das Integrieren dreidimensionaler digitaler Punktwolken sowie deren Visualisierung und weitere Möglichkeiten zur Verarbeitung von 3D-Stadtmodellen und Landmarks. Ein Landmark wird mit dem Paket tridicon® 3D Landmark aus terrestrischen (orientierten) Digitalfotos erstellt. Das Paket beinhaltet sowohl ein kalibriertes Kamerasystem als auch die Software tridicon® Trio und tridicon® Architecture. Für die Aufnahme der Digitalfotos wird das kalibrierte Kamerasystem verwendet. Das tridicon® Trio wird zum Orientieren der Bilder und das tridicon® Architecture zum photogrammetrischen Modellieren und Texturieren verwendet [I-Quelle 1, 3DCon]. Für eine flächendeckende Kartierung von 3D-Stadtmodellen im Detaillierungsgrad LoD2 und LoD3 dient die Software tridicon® 3D Editor. Die Gebäude werden aus orientierten Luftbildern und Satellitenbildern abgeleitet. Das tridicon® Architecture und tridicon® 3D Editor sind begrenzt zur „freihändigen“ Modellierung einsetzbar.

### 4.3 CityGRID® Modeler von UVM Systems

Die Namensbedeutung der Firma UVM Systems GmbH kommt von der Abkürzung „Urban Visualisation and Management“. Der Zusatz „Systems“ soll die Verbindung zum entwickelten Softwaresystem CityGRID® bringen. Dieses Softwaresystem ist für die Modellierung, Verwaltung und Nutzung von 3D-Gebäudemodellen zuständig. „CityGRID® ist ein modernes Hilfsmittel für die Planung, Simulation und Visualisierung im bebauten Gebiet. Durch die dreidimensionale Darstellung werden stadtrelevante Daten anschaulich und in einer auch für Fachfremde zugänglichen Form aufbereitet“ [34, UVM].

## Softwarepakete zur LoD3-Gebäudemodellierung

Die Entwicklung des Softwaresystems CityGRID® begann im Jahre 2001 und setzt sich aus den folgenden vier Produkten von CityGRID® Manager, CityGRID® Modeler, CityGRID® Builder und CityGRID® Scout zusammen.

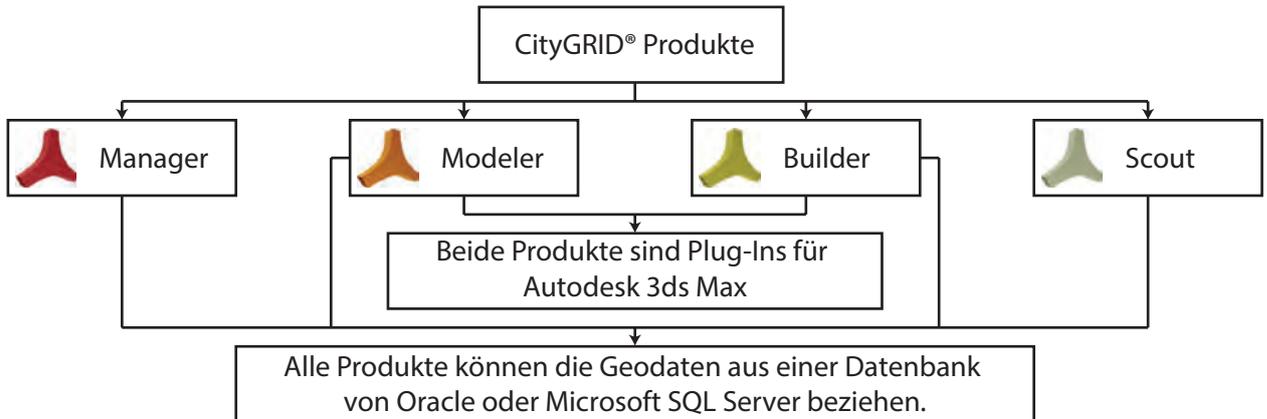


Abb. 13: CityGRID® Produkte

Der CityGRID® Manager ist für die Verwaltung von Gebäudemodellen zuständig. Es können verschiedene Detaillierungsgrade der Gebäudemodelle abgeleitet werden. Diese werden auf der Basis von Oracle oder Microsoft SQL Server laufende Datenbank gespeichert. Die Datenbank läuft im Hintergrund bei allen Produkten. Der CityGRID® Scout bietet die 3D-Visualisierung in Echtzeit. Zuvor kann im CityGRID® Builder ein optimales Stadtmodell geplant werden. Mit dem CityGRID® Modeler können 3D-Gebäudemodelle bis zum LoD4 erstellt und fortgeführt werden. Der Modeler ist in vier Lizenzvarianten verfügbar, diese sind der CityGRID® Inspector, der CityGRID® Editor, der CityGRID® Texture und die Vollversion, die alle drei anderen Einzellizenzen zusammenfasst.

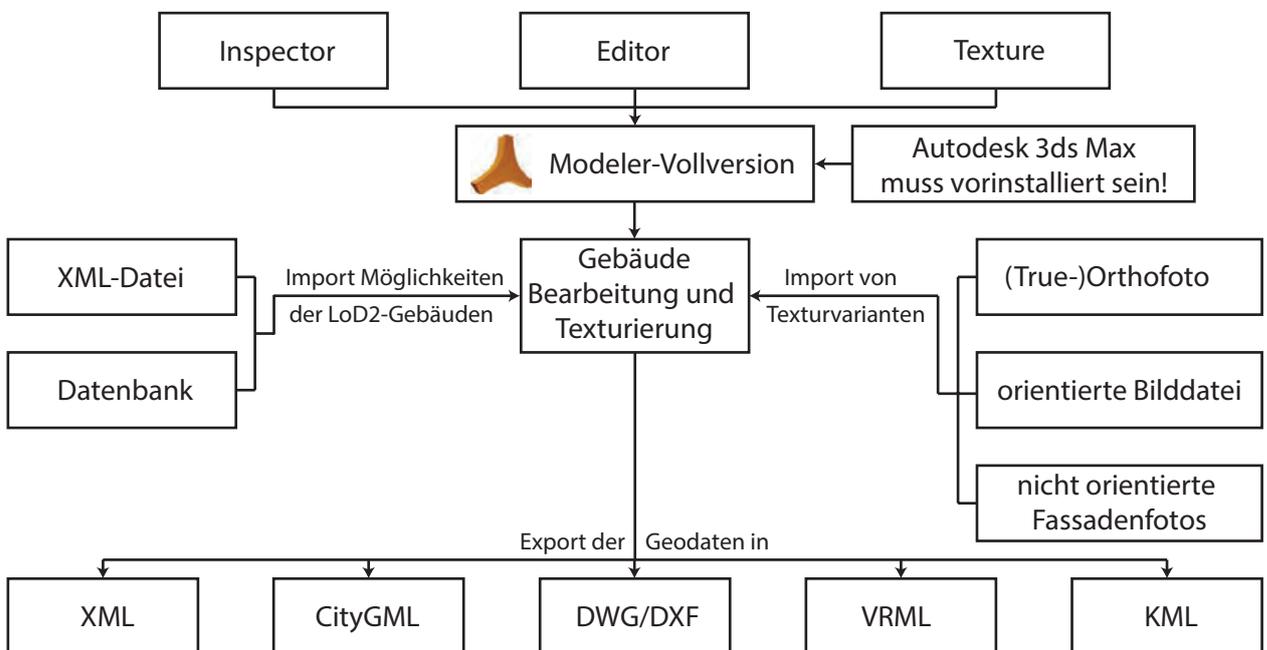


Abb. 14: Aufbau des CityGRID® Modelers

Der Inspector hat die geringsten Funktionen. Es können die Gebäude lediglich im View betrachtet und exportiert werden. Der Editor beinhaltet alle Editierwerkzeuge sowie den Flächenbildungsalgorithmus. Ein weiteres Modul ist der CityGRID® Texture, der alle Texturierungsfunktionen bereitstellt. Alle drei einzelnen Lizenzvarianten ergeben die vierte Lizenzvariante und zwar die Vollversion.

Für die Verwendung des Modelers wird jedoch vorausgesetzt, dass das Softwareprogramm 3ds Max von Autodesk installiert ist, da dieses das Basisprogramm des Modelers ist. Der Modeler ist also ein lizenziertes Plug-in für 3ds Max. Als Import muss eine Datei im standardisierten XML-Format vorliegen, denn der CityGRID® Modeler verwendet einen linienorientierten Ansatz, um Gebäudedaten zu verwalten. Die Flächen werden durch die Triangulation automatisch abgeleitet. Daten die im CityGML-Format vorliegen sind flächig und müssen für das Editieren im Modeler in ein Liniengerüst überführt werden. Eine Konvertierung lässt sich durch einen von der Firma UVM Systems zur Verfügung gestellten, allgemeinen Konverter durchführen oder kann über das Programm FME (Feature Manipulation Engine) der Firma Safe Software individuell gestaltet werden. Es werden immer die aktuelle und die beiden letzten Versionen der Programme FME und 3ds Max unterstützt. Als Ersatz für die XML-Datei können die Daten aus einer Datenbank bezogen werden, diese Daten müssen vor dem Import in die Datenbank ebenfalls in ein Liniengerüst umgewandelt werden. Als Datenbanken dienen ein Oracle oder Microsoft SQL Server.

In der nachfolgenden Grafik wird eine CityGML-Datei in eine XML-Datei mit der Software FME konvertiert. Für dieses Beispiel werden die Schritte als einzelne FME-Dateien alle separat ausgeführt. Um nicht alle vier FME-Dateien einzeln auszuführen, können in einer Batchdatei die jeweiligen Schritte zusammengefasst werden. Dadurch ist nur ein einziger Aufruf notwendig. Eine weitere Möglichkeit wäre, eine Oberfläche zu erzeugen, hinter der sich die einzelnen Ausführungsschritte verbergen würden.

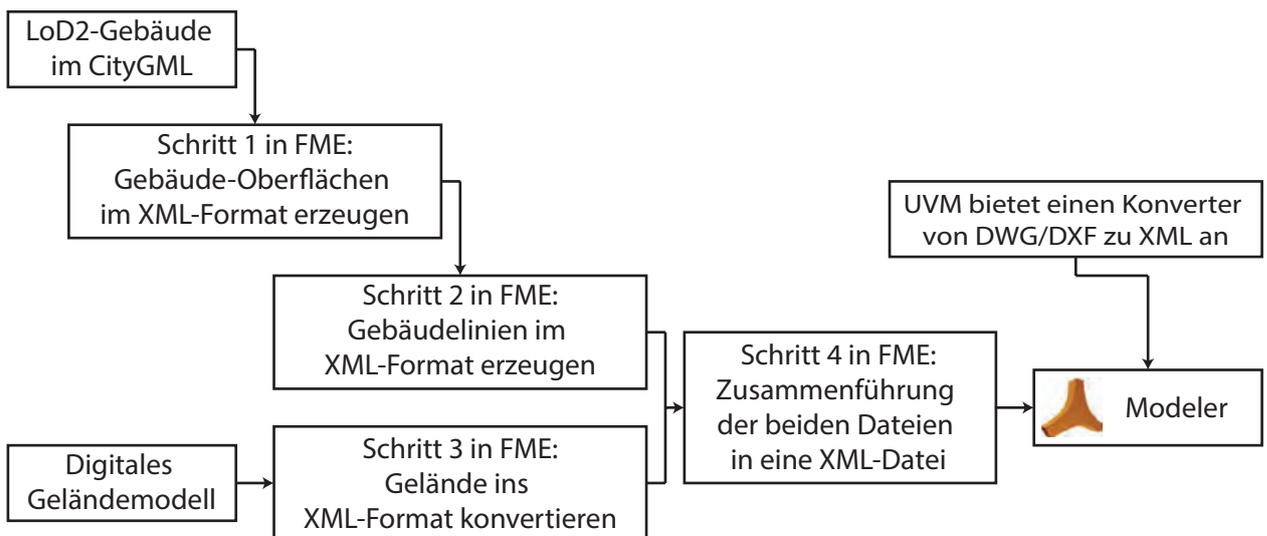


Abb. 15: Konvertierung des CityGML-Formates in ein XML-Format

Aus dem 3ds Max heraus kann über die Menüleiste mit dem Reiter CityGRID® Modeler (Abb. 16) der Modeler gestartet werden. Der Modeler baut sich auf und möchte sofort im Auswahlfenster das gewünschte Gebäudemodell laden. Ohne ein vorhandenes Gebäudemodell kann dieser nicht verwendet werden. Unter dem Reiter CityGRID® Modeler befinden sich ebenfalls einige Optionseinstellungen.

Die Benutzeroberfläche des 3ds Max hat sich durch das Plug-in folgendermaßen verändert: Wie in Abb. 16 zu sehen, sind auf der linken Seite zusätzliche Auswahlfenster und eine Reihe von Buttons hinzugekommen. „Die Befehlspalette (Command-Panel) von Autodesk 3ds Max wird ausgeblendet, da ausschließlich Funktionen des CityGRID®-Plug-ins zum Editieren der Geometrie der Gebäudemodelle verwendet werden sollen [35, UVM].“

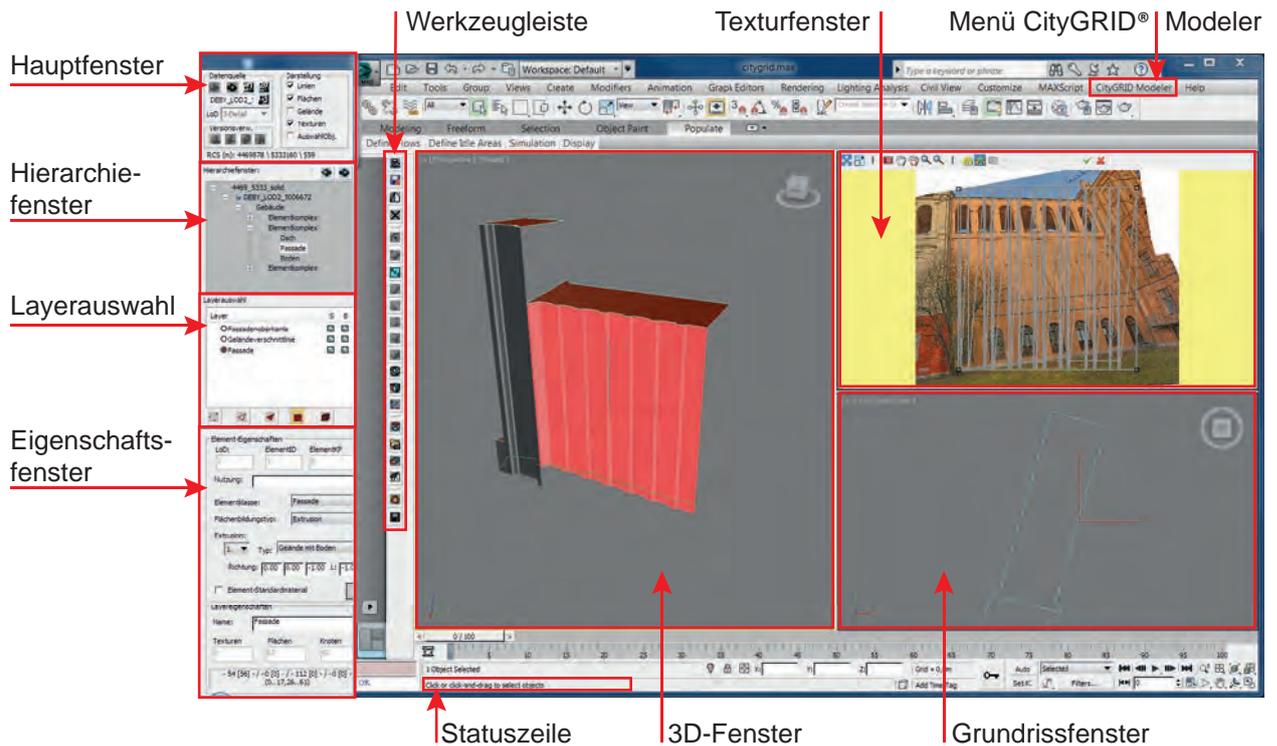


Abb. 16: Benutzeroberfläche des CityGRID® Modelers

## Hauptfenster

Im Hauptfenster kann das zu bearbeitende Gebäude in den entsprechenden Detaillierungsgraden von 1 bis 3 ausgewählt werden. Es können einzelne Units (Gebäude) oder mehrere Gebäude gleichzeitig geladen werden. Diese Funktion kann über das 3D-Fenster beziehungsweise im Grundrissfenster durch das Selektieren der Gebäude erfolgen. Die Funktionen der Versionsverwaltung sind nur mit der Verbindung zur Datenbank möglich. Über die Darstellung können die Gebäudeliniien, Gebäudeflächen, das Gelände, die Texturen und die Auswahlobjekte sichtbar gemacht werden. Der RCS-Wert (Reference Coordinate System Wert) zeigt den Verschiebungswert vom lokalen Koordinatensystem des 3ds Max zum Ausgangs-Referenzkoordinatensystem für die Richtungen X, Y und Z in Metern an. Über das lokale Koordinatensystem wird die volle Koordinatenschärfe erhalten, die beim reinen Arbeiten mit 3ds Max verloren gehen würde.

## Hierarchiefenster

Für eine bessere Übersichtlichkeit wird die Gebäudesemantik des Modells durch eine mehrstufige Hierarchieebene beschrieben. Diese wird im Hierarchiefenster wiedergegeben. Das Hierarchieebenen Modell des CityGRID® Modelers wird unterteilt in die Stufen „Unit“ (Abb. 17), „Objekt“ (Abb. 18), „Haupt-Elementkomplex“ (Abb. 19), „Element“ (Abb. 20) und „Detail-Elementkomplex“ (Abb. 21). Alle fünf Fachausdrücke werden speziell so im CityGRID® Modeler verwendet.

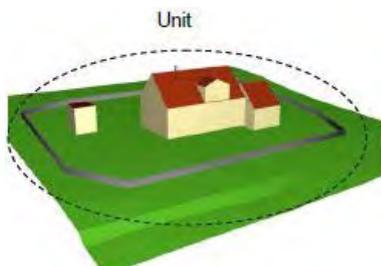


Abb. 17: Unit [UVM]

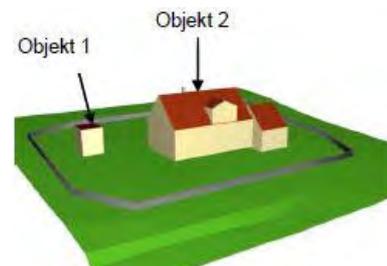


Abb. 18: Objekte [UVM]

Eine Unit ist ein Verbund von zusammengefassten Gebäuden, die sich zum Beispiel auf einem Grundstück befinden und eine gleiche Unit ID aufweist. Es muss sich mindestens ein Objekt in einer Unit befinden.

„Ein Objekt ist ein einzelnes Gebäude/Bauwerk“ [34, UVM] und besteht aus mindestens einem Haupt-Elementkomplex. Ein Objekt wird in einer Objektklasse geführt und ist meist baulich, nicht an einem anderen Objekt angebaut. Objektklassen sind zum Beispiel Gebäude, Aussparungsobjekte, unterirdische Bauwerke, boolesche Objekte, Mauern, Stiegen, Tunnel, Brücken, Geländeobjekte, Mobiliar und so weiter.

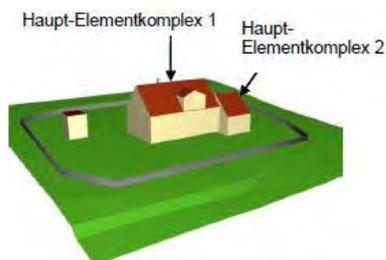


Abb. 19: Haupt-Elementkomplex [UVM]

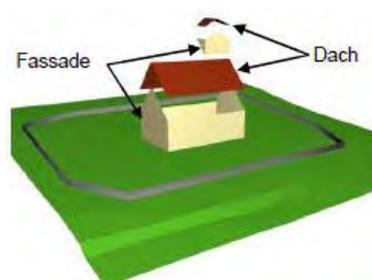


Abb. 20: Elemente [UVM]

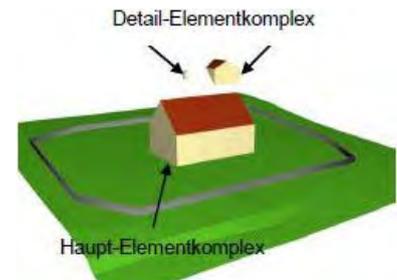


Abb. 21: Detail-Elementkomplex [UVM]

Haupt-Elementkomplexe, Elemente und Detail-Elementkomplexe können umbenannt werden. Eine Umbenennung ist bei mehreren Elementkomplexen sehr wichtig, da man dadurch schneller den richtigen Elementkomplex findet.

Ein Haupt-Elementkomplex ist ein Bauteil eines Objektes und existiert mindestens einmal. Diese Hierarchieebene, ohne die darunterliegenden, befindet sich typischerweise im LoD2. In speziellen Fällen kann ein Haupt-Elementkomplex durch das Verschieben auf die Ebene Unit während der Bearbeitung zu einer eigenständigen Unit geändert werden, das heißt die Flächenbildung des Hauptelementkomplexes wird isoliert und kann eigenständig trianguliert werden. Bei einer Triangulierung werden die Dreiecksflächen der Unit neu berechnet. Nach der Bearbeitung muss jedoch die Verschiebung von der Unit zurück auf den Haupt-Elementkomplex vorgenommen werden.

Elemente eines Elementkomplexes haben ihre eigenen Flächenbildungsvorschriften und sind: Dach, Decke, Fassade, Dachüberhang und Boden. Jeder Elementkomplex besteht aus mindestens einem Dach-/Decken-Element und einer beliebigen Anzahl von Fassaden-Elementen. Außerdem darf es nur einen oder keinen Boden sowie ein oder kein vertikales Dachflächen-Element geben. Elemente entstehen durch die Triangulierung während die Fassadenflächen durch Extrusion gebildet werden können.

Auf einem Dach-Element darf ein Detail-Elementkomplex angebracht sein. Dieses wird wiederum in Elemente aufgeteilt. Ein Detail-Elementkomplex wird typischerweise für ein 3D-Gebäudemodell im LoD3 verwendet. Die Detail-Elementkomplexe lassen sich aber auch als Modellierungsmethode in vielfältiger Weise, unabhängig vom Detaillierungsgrad nutzen. Es können Schornsteine und alle möglichen Arten von Gauben modelliert werden. Die Fassaden enden bei der Schnittstelle mit dem Dachelement des zugehörigen Haupt-Elementkomplexes und stehen mit diesem in einer Eltern-Kind-Beziehung.

### Layerfenster

Elemente werden in Layern unterteilt. Diese Unterteilung wird vorgenommen, da jedes Liniengerüst aus verschiedenen Linientypen besteht. Zum Beispiel ein Element „Dach“ eines Flachdaches besitzt mindestens den Layer „äußeres Begrenzungspolygon“ und „Dach“. Wie schon der Layer-

name „äußeres Begrenzungspolygon“ sagt, kann hier das Liniengittergerüst der Traufe verändert werden. Über den Layer „Dach“ kann die Textur auf die Fläche angebracht werden. Wird ein Layer „sonstige Dachlinie“ hinzugefügt und eine Firstlinie gezeichnet, entsteht ein Satteldach. Bei dem Element „Fassade“ gibt es den Layer „Fassadenoberkante“, der dem Layer „äußeres Begrenzungspolygon“ des Daches gleicht. Mit dem Flächenbildungsalgorithmus werden die Flächen im Layer „Fassade“ senkrecht nach unten extrudiert.

Mit Hilfe der Checkboxen „Sichtbarkeit“ (S.) können die Layer des aktiven Elements ausgeblendet werden. Die „Bindung“ (B.) wird verwendet, wenn Layer unabhängig voneinander modelliert werden sollen, das bedeutet: Ist eine Bindung aktiv und die Lage eines Punktes verändert, so führt diese zur Veränderung aller Linien, die in diesem Punkt einmünden. Das Lösen der Bindung ist beim Kopieren von einem Layer in einen anderen und der darauffolgenden Verschiebung des Polygons wichtig. Nach der Verschiebung wird das Element trianguliert und alle Bindungen werden automatisch wieder aktiviert. Spezielle Arten der Bindungen sind die „Master-Slave-Beziehungen“ zwischen zwei identischen Linien des äußeren Begrenzungspolygons mit der Traufe und der Fassadenoberkante. Daher würde zum Beispiel für eine Traufenlinie im „äußeren Begrenzungspolygon“ des Daches ein „M“ und bei der „Fassadenoberkante“ der „Fassade“ ein „S“ stehen. Über die Master-Slave-Beziehungen erkennt der Triangulierungsalgorithmus, ob Dachüberstandselemente eingefügt werden müssen.

In diesem Fenster befinden sich ebenfalls der Subselektionsmodus, der fünf Auswahlmöglichkeiten des Selektierens unterstützt: Diese sind *Vertex/Punkt*, *Segment/Kante*, *Polygon/Fläche*, *Rechteckfläche* und *ganzes Element*.

### Eigenschaftsfenster

Jede Hierarchieebene hat ihr eigenes Eigenschaftsfenster, hier kann zum Beispiel die Namensänderung durchgeführt oder der LoD verändert werden.

### Werkzeugleiste

Die Werkzeugleiste ist unterteilt in Normalmodus, Bearbeitungsmodus, Texturmodus, Geländemodus und Triangulieren/Speichern. Es sind jedoch nicht immer alle Buttons der Werkzeugleiste aktiv, gegebenenfalls muss der Subselektionsmodus geändert werden.

### Texturfenster

Im Texturfenster werden Bilder zum Beispiel Orthofotos mit selektierten Flächen kombiniert zur Anzeige gebracht. Das Flächennetz erscheint in einer Gitternetzdarstellung über dem Bild. Über die vier Passpunkte kann das Gitternetz an den Bildinhalt adaptiert werden. Bei jeder Veränderung eines Passpunktes ist die Auswirkung auf das gesamte Gitternetz sofort sichtbar. Stimmen das Gitternetz und der Bildinhalt überein, definieren die vier Passpunkte nun die Transformationsparameter für eine Entzerrung. Diese werden durch den CityGRID® automatisch angewandt und berechnet. Dadurch werden die selektierten Flächen mit dem Orthofoto texturiert.

### 3D-Fenster

Im 3D-Fenster werden die geladenen Daten dargestellt. Die Ansicht ist standardmäßig als flächige Darstellung, kann aber auch als Drahtgerüst angezeigt werden. Das Gebäude kann durch Drehen und Zoomen von allen Seiten aus betrachtet werden.

### Grundrissfenster

Das Grundrissfenster zeigt standardmäßig das Gittergerüst in der 2D-Ansicht an. Das Gebäudemodell weist häufig verschiedene Farben von Linien auf, wie cyan farbene Linien für ein äußeres

Begrenzungspolygon, gelbe Linien als sonstige Hilfslinien oder pinke Linien als Bruchkanten. Die Farben können jedoch auch über benutzerdefinierte Standardfarben geändert werden.

### Statuszeile

Die Statuszeile zeigt dem Benutzer maximal eine Anweisung an.

## 4.4 SketchUp von Trimble

Trimble kaufte die Modellierungssoftware SketchUp im Jahre 2012 von der Firma Google auf. Jedoch hatte diese ebenfalls nicht die Software erfunden. Entwickler und erster Herausgeber der Software war im Jahre 2000 die Firma „@Last Software“. 2006 wurde dann die Firma von Google aufgekauft, da sich mit dem Softwarepaket SketchUp dreidimensionale Gebäudemodelle erstellen lassen und diese in Google Earth geladen werden können.

Es gibt zwei Versionen von SketchUp, die Versionen „Make“ und „Pro“. Die Version „SketchUp Make“ steht für den Privatanutzer, für nicht-kommerzielle Zwecke im Internet zur kostenlosen Benutzung frei verfügbar. Die kommerzielle Version „SketchUp Pro“ ist nicht kostenlos, besitzt dafür aber erweiterte Funktionen. SketchUp ist sehr vielseitig in der Modellierung. Es können nicht nur Gebäudemodelle von außen, sondern auch Innenraummodellierung vorgenommen werden. Weiterhin können alle möglichen Objekte wie Fahrzeuge, Tiere, Möbel und so weiter modelliert werden. Objekte, die mehrfach benötigt werden, können als Komponenten erstellt werden [33, Steffens et. al., 2012]. Dadurch kommt der Einsatz dieses Softwarepaketes sehr häufig vor. Für den Import und Export gibt es mehrere Möglichkeiten. SketchUp kann jedoch selbst keine CityGML-Dateien laden. Die Westfälische Hochschule entwickelte ein Plug-in für Google SketchUp. Die letzte aktuelle Plug-in-Version 1.8 ist vom November 2012 und unterstützt nur Elemente des Typs „Building“ und keine weiteren Elemente [I-Quelle 13, Westfälische Hochschule]. Aus technischen Gründen war es nicht möglich, dieses Plug-in in SketchUp Make 2014 zu installieren. Daher wurde für die Modellierung des Landtages mit der SketchUp Version 8 von Google gearbeitet.

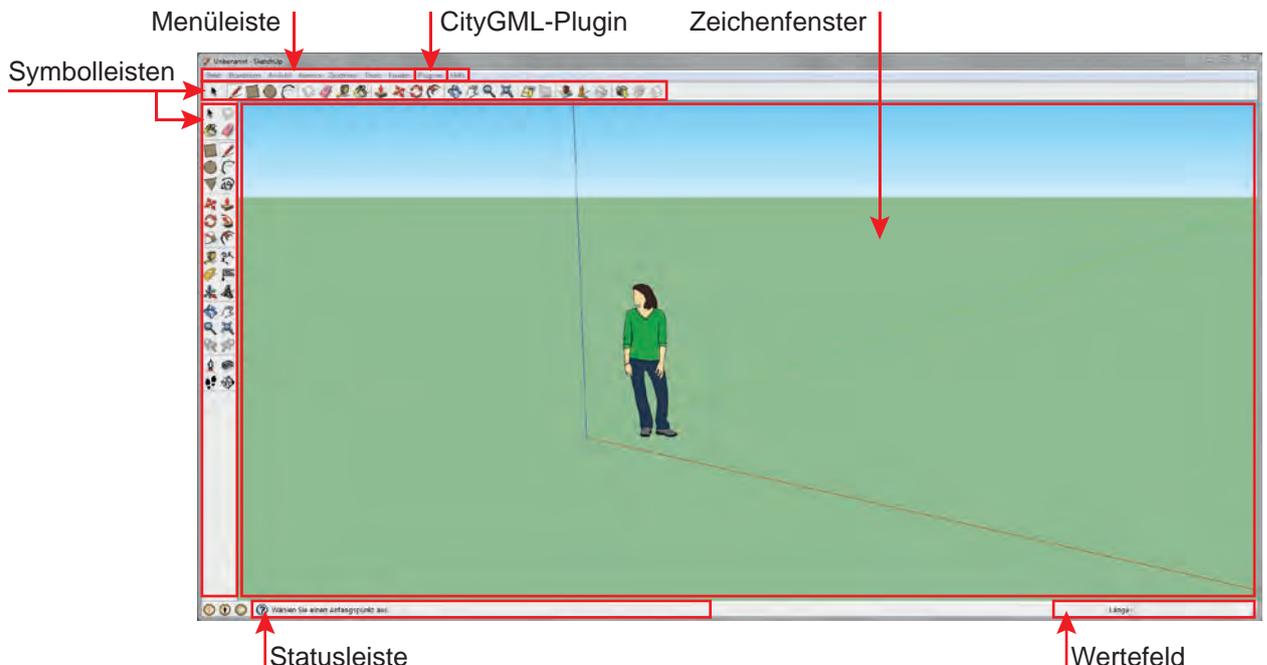


Abb. 22: Benutzeroberfläche Google SketchUp

Der Aufbau der Benutzeroberfläche (Abb. 22) der Version 8 ist so gut wie identisch von der SketchUp Make 2014. In der Werkzeugleiste gibt es nur ein paar kleine Unterschiede, was jedoch keine große Rolle spielt.

### Menüleiste

Über die Menüleiste können fast alle Funktionen und Einstellungen vorgenommen werden. In der Menüauswahl befindet sich nach der Installation des Plug-ins auch das Menü „CityGML“. Über dieses kann eine CityGML-Datei importiert und exportiert werden.

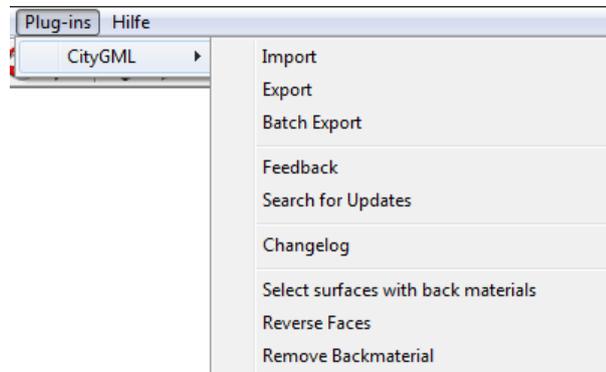


Abb. 23: Funktionen des Plug-ins in SketchUp für CityGML

### Symbolleisten

Es gibt zwei Symbolleistenpakete zur Auswahl. Das Symbolleistenpaket „Erste Schritte“ wird beim Starten von SketchUp direkt unter der Menüleiste angezeigt. Das zweite Symbolleistenpaket „Großer Funktionssatz“ muss selbständig ausgewählt werden und besteht aus den Funktionen: Grundsymbolleiste, Zeichnen, Änderungen, Konstruktion, Kamera und Durchlaufen. Beide können gleichzeitig oder getrennt voneinander angezeigt werden. Weitere praktische kleine Symbolleisten sind: Standard, Ansichten und Stile. Im „Standard“ befinden sich Funktionen wie Speichern, Kopieren, Löschen und Rückgängig. Für die Modellierung ist es manchmal wichtig, das Drahtgittergerüst zu sehen. Diese und weitere Ansichten für das Element können mit der Symbolleiste „Stile“ visualisiert werden. Mit der Symbolleiste „Ansichten“ ist es möglich, schnell die Blickrichtung auf das Element zu wechseln.

### Zeichenfenster

Das Zeichenfenster besteht aus einer 3D-Raumumgebung, in der die Elemente erstellt und bearbeitet werden. Als Hilfe für die Orientierung beim Modellieren existiert die Zeichnungsachse. An dieser Achse befindet sich eine Person, um das Gefühl für die Größe beim Erstellen zu bekommen.

### Statuszeile

In der Statuszeile werden nützliche Tipps zum Arbeiten in SketchUp angezeigt, wie zum Beispiel mögliche Funktionen und deren Tastenkombinationen.

### Wertefeld

Das Wertefeld zeigt die Maßangaben als Länge oder Länge und Breite beim Zeichnen an. Die Werte können beim Zeichnen einer Linie selbst eingegeben werden.

## 5 Präprozessierung

In diesem Kapitel werden die Geobasisdaten, die zur automatischen Ableitung der LoD2-Gebäude benötigt werden, und deren Nachbearbeitung beschrieben. Die gesamten Daten wurden vom Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung in München für diese Masterarbeit zur Verfügung gestellt.

### 5.1 Benötigte Daten für die Erstellung des LoD2-Gebäudes

Für die Erstellung des bayerischen Landtages, auch als Maximilianeum bekannt, wird die Kachelnummer 4469\_5333 verwendet. Die Kachelnummer setzt sich aus den ersten vier Zahlen der Koordinaten des Rechtwertes und des Hochwertes der Südwest-Ecke der Kachel zusammen. Die Koordinaten befinden sich im Gauß-Krüger-Koordinatensystem und liegen im 12° Bezugsmeridians. Die Kachel beinhaltet insgesamt 1259 Gebäude. Für die Modellierung des Landtages werden jedoch nur 12 Gebäude benötigt, diese können über die Objektidentifikationsnummer der Gebäudegrundrisse aus der Datenbank ausgespielt werden. Die Anzahl der einzelnen Gebäude ist durch die Vermessung bei der Aufnahme des Grundrisses entstanden.

#### 5.1.1 Digitales Geländemodell

Ein Digitales Geländemodell (DGM) stellt die natürliche Erdoberfläche wie in Abb. 24 dar. Dass bedeutet, es befinden sich keine Objekte wie Häuser oder Bäume in einem DGM. Die Punkte der Höheninformationen werden aus Punktwolken abgeleitet. Diese können in einem regelmäßigen oder einem unregelmäßigen Punktegitter gespeichert werden.

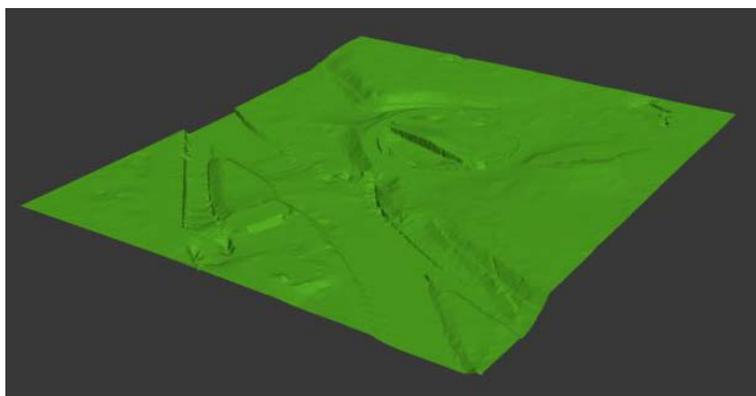


Abb. 24: Digitales Geländemodell

Häufig kommen ebenfalls englische Begriffe wie Digital Terrain Model (DTM) oder auch Digital Elevation Model (DEM) vor. In Bayern können hochauflösende Digitale Geländemodelle, die mit Airborne Laserscanning aufgenommen wurden, kostenpflichtig mit einer Gitterweite von 1 m, 2 m, 5 m, 10 m, 25 m oder 50 m bezogen werden [I-Quelle 10, LDBV]. Im Gegensatz zu den kostenpflichtigen DGM-Daten gibt es auch kostenlose DGM-Daten, die von der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) mit einer Auflösung von 30 m aufgenommen wurden. Das SRTM wird durch Radarimpulse ermittelt und deckt die Erdoberfläche zwischen 60°N und 54°S ab. Es ist daher erforderlich, genau zu wissen, für was ein DGM verwendet werden soll. Im Rahmen der Open Data Initiative gibt zum Beispiel die Bayerische Vermessungsverwaltung ein DGM mit einer Auflösung von 200 m kostenlos ab. Die Nutzungsmöglichkeiten sind vielfältig, wie die Simulationsberechnung für Hochwasser und Lawinen, Höhenlinienkarten, Schummerungsbilder, Querprofile, Sichtbarkeitskarten oder Volumenberechnungen. Bei der Messerfassung für ein DGM mit einem Laserscanner werden nur die Last-Echo-Punkte verwendet.

Für das Einlesen des DGM in BuildingReconstruction wird das DGM 1 mit einer Gitterweite von 1 m verwendet. Als Dateiformat ist ein ASCII Grid-Format (\*.asc) notwendig. Die Datei ist wie in Abb. 25 aufgebaut. In Zeile 7 befinden sich 1201 Höhenwerte in einem Abstand von jeweils 1 m der Erdoberfläche. Durch die regelmäßig angeordneten Gitterpunkte entstehen daher auch insgesamt 1201 Spalten.

```

1 ncols          1201
2 nrows          1201
3 xllcorner      4468900
4 yllcorner      5332900
5 cellsize       1.0
6 NODATA_value  -9999
7 514.96 515.01 515.04 515.05
8 515.00 515.05 515.09 515.12
9 515.08 515.13 515.18 515.20
10 515.21 515.26 515.29 515.32

```

Abb. 25: Digitales Geländemodell in ASCII Grid-Format

### 5.1.2 Digitales Oberflächenmodell

Anders als beim DGM, werden im Digitalen Oberflächenmodell (DOM) die Bebauungs- und Vegetationsoberflächen mit dargestellt. Dabei werden nicht die Last-Echo-Punkte der Laserimpulse verwendet, sondern die First-Echo-Punkte. Die Strukturierung der Punktdaten kann mittels eines Gitternetzes oder eines Dreiecknetzes erfolgen. Bei den LoD2-Gebäuden werden jedoch die Last-Echo-Punkte verwendet. Der Grund dafür ist: Wenn Bäume über ein Dach reichen, würden nur die Baumkronen visualisiert werden und die eigentliche Dachstruktur wäre nicht erkennbar.

Das in dieser Arbeit verwendete DOM besteht aus einer unregelmäßigen Punktwolke und wird daher als Dreiecksnetz im Dateiformat \*.xyz wie in Abb. 26 gespeichert. Für diese Kachel mit Puffer gibt es insgesamt 3.643.816 Last-Echo-Punkte. Das entspricht einer Punktdichte von 2,5 auf dem Quadratmeter.

```

1 4468900.03 5332999.56 516.823
2 4468900.06 5332989.47 518.103
3 4468900.12 5332989.96 519.348
4 4468900.03 5332990.35 516.198
5 4468900.06 5332991.25 516.404

```

Abb. 26: Digitales Oberflächenmodell im XYZ-Format

### 5.1.3 Digitale Flurkarte

In der Digitalen Flurkarte (DFK) werden grafische Informationen in Form von Punkten und Linien für Gebäude und Flurstücke gespeichert. Die Sachdatenbezogenen Informationen der bayerischen Vermessungsämter für die Flurkarte sind die Grenzen und Nummern der Flurstücke, die Gebäude einschließlich der Hausnummern, die Straßennamen und Flurnamen, die Ortsnamen, die Nutzungsarten des Bodens, Gewässer und ausgewählte topographische Informationen, die Verwaltungsgrenzen und die Katasterfestpunkte [I-Quelle 11, LDBV]. Mit Hilfe der Tachymetrie werden die Flurstücke sehr genau vermessen.

In Bayern besteht eine Gebäudeeinmessungspflicht, diese ist gesetzlich vorgeschrieben (Vermessungs- und Katastergesetz - VermKatG). Dadurch ist eine Aktualisierung der LoD2-Gebäude möglich, denn auch Grundrissveränderungen an bestehenden Gebäuden müssen eingetragen werden.

Die grundrisstreuere Polygone der Gebäude stehen als Vektordaten zur Verfügung und liegen im Shape-Format (\*.shp) vor. Es werden für die automatische Gebäudeableitung im BRec jedoch keine weiteren Sachdaten benötigt.

### 5.1.4 Digitales Orthofoto

Ein Digitales Orthofoto (DOP) ist ein Luftbild, das maßstabsgetreu, lagerichtig und entzerrt ist. Die Entzerrung des Luftbildes wird mittels des DGM10 durchgeführt. Die Aufnahme eines Luftbildes wird in der Regel digital von einer Flugzeugkamera mittels der Zentralprojektion aufgenommen, somit entstehen nur minimale Umklappeffekte. Bei einer Schrägluftbildaufnahme hingegen entstehen sehr starke Umklappeffekte. Die Landschaft wird somit naturgetreu wiedergegeben. Die Georeferenzierung des DOP erfolgt in Bayern im Gauß-Krüger-Koordinatensystem. Dadurch kann das DOP auch mit Fachdaten, wie mit einer DFK Überlagerung, ergänzt werden.

Im BRec wird das DOP als primärer Rasterdatensatz und nur zur visuellen Überprüfung verwendet. Die Bodenauflösung des Orthofotos beträgt 20 cm. Die Ausgabe aus der Datenbank erfolgt als \*.jpg. Für die Georeferenzierung des Bildes wird ebenfalls ein Worldfile im \*.jgw mit ausgegeben.

### 5.1.5 Farbcodiertes Rasterbild

Die dreidimensionalen Laserscanning-Daten des DOM werden nach Höhenstufen eingefärbt und als zweidimensionales Rasterbild gespeichert. Die Einfärbung der Höhenpunkte erfolgt zwischen dem höchsten und dem niedrigstem Punkt. Dabei wird die Farbskala mehrmals durchlaufen, um auch die kleinsten Höhenunterschiede auf dem Dach zu erkennen. Die Einfärbung dient für die interaktive Nachbearbeitung im BRec zur eindeutigen Bestimmungen der Dachlandschaften. Die First- und Traufenlinie wird dadurch schnell erkannt. Die Dachform kann durch die Neigungsänderung bestimmt werden.

Das farbcodierte Rasterbild Abb. 27 wird im BRec als sekundärer Rasterdatensatz verwendet und liegt als \*.jpg mit dem dazugehörigen Worldfile (\*.jgw) vor.



Abb. 27: Farbcodiertes Rasterbild der Kachel 4469\_5333

### 5.1.6 Fassaden Fotos

Die Fassaden wurden mit zwei verschiedenen digitalen Spiegelreflexkameras und einer Digital-kamera fotografiert. Bei der Wahl des Aufnahmezeitpunktes wurde darauf geachtet, dass dunkle Schattenwürfe so gut wie möglich vermieden werden. Da bei dem Gebäude nicht jede Fassade in einem Einzelbild erfasst werden konnte, wurden mehrere einzelne Bilder erfasst. Diese können im Adobe Photoshop mit dem Werkzeug *Photomerge* zusammengesetzt werden. Es musste hierbei beachtet werden, dass bei der Zusammensetzung der Bilder jeweils zwischen den Eckpunkten der Fassade eine gerade Linie entsteht. Wenn dieses nicht der Fall war, wurde das Bild mit der Transformation der Entzerrung verbessert. Eine perspektivische Transformation muss jedoch nicht durchgeführt werden. Bei den Aufnahmen, wie zum Beispiel im Innenhof, wurden Fahrzeuge vor den Fassaden mit unterschiedlichem Blickwinkel aufgenommen. Diese wurden ebenfalls im Adobe Photoshop entfernt. Weitere Bearbeitungen erfolgten an Stellen, die durch Umklappeffekte beim Fotografieren verdeckt wurden.

## 5.2 BuildingReconstruction

BuildingReconstruction (BRec) ist eine Software zur vollautomatischen Ableitung von 3D-Gebäudemodellen im LoD1 und LoD2. Die flächendeckenden 3D-Gebäudemodelle werden Kachelweise aus Gebäudegrundrissen sowie hochauflösenden DOM und DGM abgeleitet. Eine Kachel „kann bis zu 3.000 Gebäude auf einmal prozessieren“ [36, virtualcitySYSTEMS]. Jede Kachel sollte 1 km<sup>2</sup> oder kleiner sein und einen Überlappungsbereich von mindestens 100 m an den Seiten aufweisen. Der Grund dafür ist: Doppelbearbeitung werden vermieden. Dadurch ist eine regelmäßige wirtschaftliche Fortführung und Aktualisierung der Gebäudemodelle möglich. Die Abb. 28 zeigt den gesamten Workflow einer 3D-Gebäudemodellerstellung mit der Basis der Eingangsdaten bis zum Export der Dateien. „Auf Basis dieser Daten erkennt und rekonstruiert BuildingReconstruction bis zu 85 % aller Gebäude vollautomatisch [36, virtualcitySYSTEMS].“

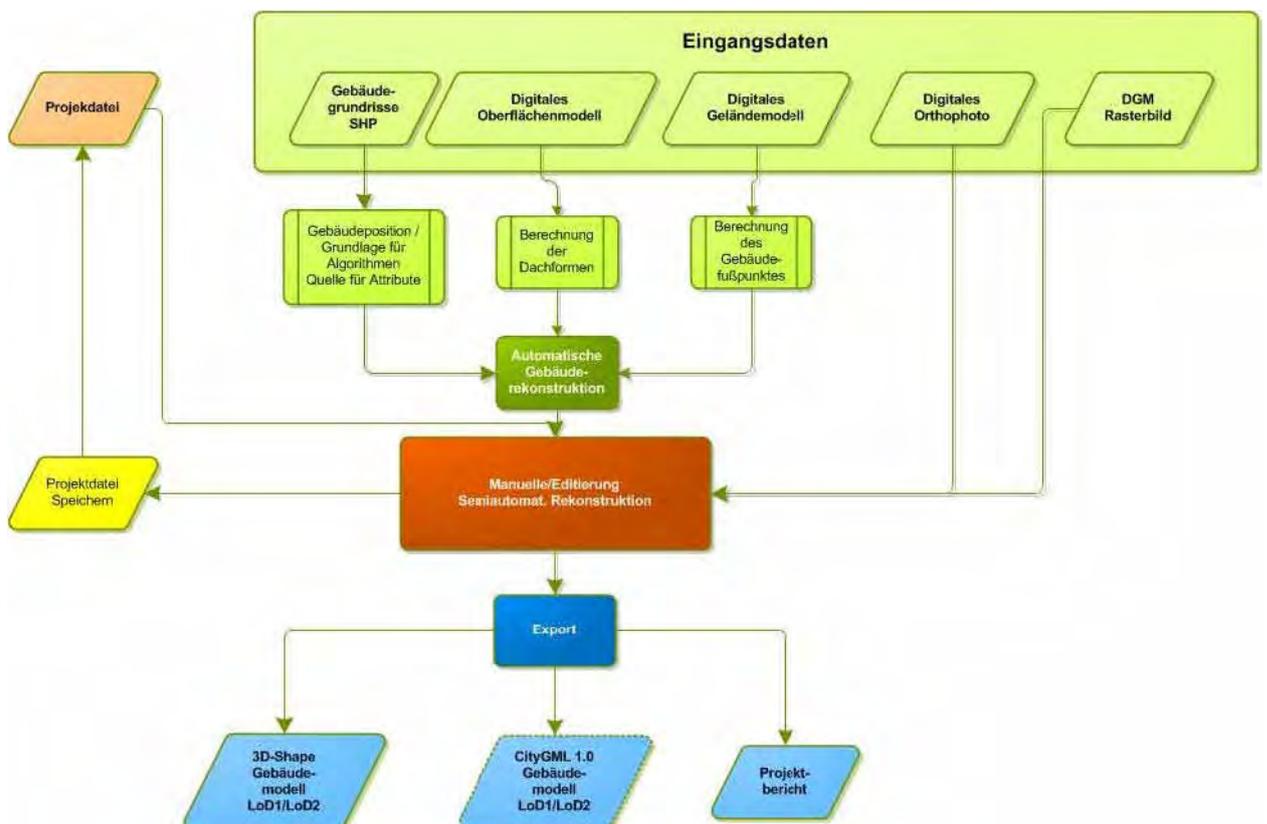


Abb. 28: Workflow der 3D-Gebäudemodellerstellung im BRec [virtualcitySYSTEMS]

Die Vorteile dieses Softwareprogrammes sind, dass die Gebäudemodelle grundrissgetreu zu den Gebäudeumrissen aus dem Liegenschaftskataster bleiben und die Gebäude gleichzeitig in diesem Programm generalisiert werden können. Die topologischen Eigenschaften werden unterteilt in Dach-, Wand- und Grundfläche.

Die Dachtypen-Bibliothek enthält in der Version 2012 insgesamt 32 Dachformen. Die automatische Ermittlung der Dachform wird durch einen Algorithmus, der die geringste Differenz zwischen den Laserpunkten und den Dachformen berechnet, abgeleitet.

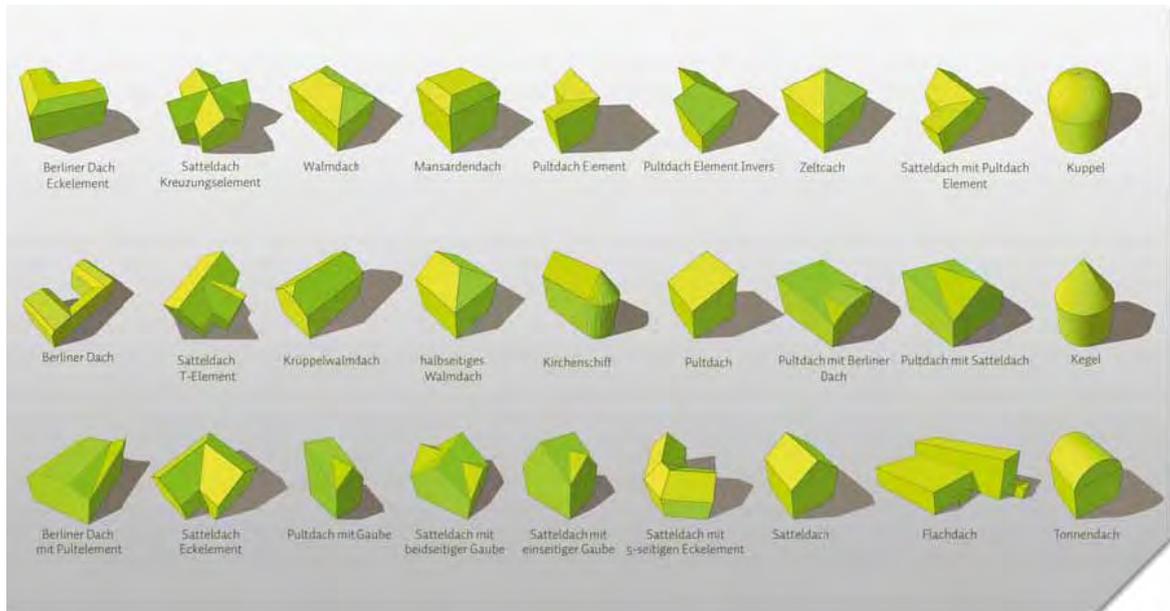


Abb. 29: Standarddachformen im BRec 2012 [virtualcitySYSTEMS]

BRec bietet drei unterschiedliche Rekonstruktionsmethoden an. Diese sind die

- *Rechteckzerlegung*, in dem der Grundriss des Gebäudes in mehrere Rechtecke aufgeteilt wird. Diese Methode wird für die Dachform des Flachdaches, des Satteldaches und des Walmdaches verwendet.
- *Zellenzerlegung*, in der die Dächer nicht mit einer Rechteckzerlegung dargestellt werden können. Das Gebäude wird in eine oder mehrere Zellen zerlegt, bis einer der Standarddachformen passt.
- *Extrusion*, bei der ein Flachdach bis auf die Höhe mit den meisten Punkten erstellt wird. Weiterhin bietet diese Methode noch die Auswahl eines Kuppeldaches und einer Kugelform.

Das LDBV hat Regeln für die Extrusion sowie wie für die Standardhöhe der Gebäude festgelegt [18, LDBV, 2012]. Eine Extrusion mit einem Flachdach wird zum Beispiel eingesetzt, wenn die Gebäudegrundfläche kleiner als 13 m<sup>2</sup> ist oder ein Pultdach eine Dachneigung kleiner als 17 %, dieses entspricht eine Neigung von 10°, besitzt. Ein Gebäude, für das aufgrund der Größe des Gebäudes eine Bearbeitung länger als 15 Minuten benötigt wird, wird auf Extrusion gesetzt und bekommt im Objekt-Explorer die Bemerkung „kg“ für komplexes Gebäude. Diese Gebäude werden zu einem späteren Zeitpunkt über eine interne Zerlegung des Grundrisses nachbearbeitet. Eine Standardhöhe wird über die Größe der Gebäudefläche bestimmt. Ist eine Fläche kleiner als 25 m<sup>2</sup>, dann wird diese auf 3 m gesetzt und wenn es größer als 25 m<sup>2</sup> ist wird es auf 9 m gesetzt. Sie wird ebenfalls eingesetzt, wenn ein neues Gebäude gebaut worden ist und noch keine Laserscanpunkte in der bisherigen Befliegung vorhanden sind. Bei der Überprüfung kann ein Widerspruch zwischen Dachform, Laserscanpunkten und Orthofoto entdeckt werden, dieses Gebäude erhält auch eine Standardhöhe.

Eine automatisch abgeleitete Kachel durch BRec sieht in der 2D-Ansicht folgendermaßen aus:



Abb. 30: Kachel 4469\_5333

Die Kachel 4469\_5333 (Abb. 30) zeigt einen Ausschnitt der Stadt München. Mit der Gebäude-dichte wird in dieser Kachel die Pufferumrandung einer jeden Kachel verdeutlicht. Es ist zu erkennen, dass die Gebäude nach der automatischen Ableitung unterschiedliche Farben aufweisen:

- Blau steht für die automatische Ableitung in der von der Software aus den Laserscanning-Daten eine Dachform erzeugt wurde.
- Gelb sind alle Gebäude, die eine Standardhöhe aufweisen.
- Rot sind „Fallback“-Gebäude. Sie werden über die Extrusion dargestellt und entstehen, wenn bei der automatischen Ableitung für die Zellzerlegung der Gebäudegrundriss nicht eingehalten werden kann.

Eine Überprüfung jedes Gebäudes muss durchgeführt werden, wobei die „Fallback“-Gebäude auf jeden Fall bearbeitet werden müssen. Nach einer Bearbeitung eines Gebäudes wird dieses mit der Farbe Grün dargestellt.

### 5.3 Erstellung der Gebäude im LoD2

Die Gebäude im LoD2 werden mit dem BRec zu Beginn automatisiert abgeleitet, dann interaktiv überprüft und gegebenenfalls nachbearbeitet. Diese Abfolge von Schritten wird nun genauer dargestellt.

Es muss im BRec ein neues Projekt angelegt werden. Dabei können allgemeine Informationen über das Projekt eingegeben werden. Da diese Eigenschaften immer identisch sind, wird eine Projektvorlage der Informationen geladen. In einer Projektvorlage können Rekonstruktionsparameter, Metadaten und Eingangsdaten gespeichert sein. Als nächstes wird das Projektverzeichnis ausgewählt. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die automatische Selektion der

Eingangsdaten ausgewählt wurde. Dieses hat den Grund, dass die Dateien des Grundrisspolygons, des DOMs, des DGMs und des primären/sekundären Rasterdatensatzes, die in den Kapiteln 5.1.1 bis 5.1.5 beschrieben sind, in einer vorgegebenen Verzeichnisstruktur gespeichert sind und nach Auswahl einer Kachelnummer automatisch eingeladen werden. Ebenfalls muss überprüft werden, ob sich bei der Auswahl der Attributspalte der Gebäude-ID auch die Nennung mit „GEBID“ festgelegt wurde. Dadurch ist eine eindeutige Identifizierung möglich. In den Rekonstruktionseinstellungen können weitere Parameter eingestellt werden.

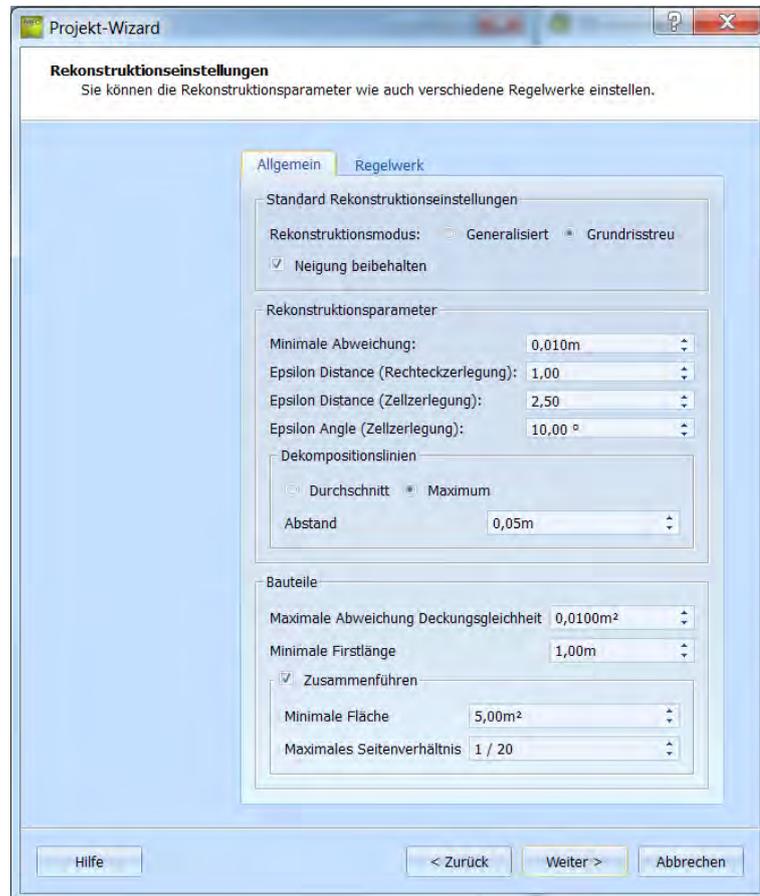


Abb. 31: Fenster der Rekonstruktionseinstellungen im BRec

Nach der Überprüfung und Bestätigung der Abb. 31 erscheint eine Zusammenfassung des eben angelegten Projektes. Hier werden noch die Bestätigungen für die automatische Rekonstruktion, der Überprüfung der Grundrisstreue, der Durchführung des Fallbacks und der Speicherung des Projektes mit dem dazugehörigen Projektbericht ausgewählt. Jetzt kann das Projekt abgeschlossen werden und die automatische Ableitung der Gebäude beginnt. Ein Algorithmus ermittelt die Dachformen in der Form, dass die Differenz der Laserpunkte zu den Standarddachformen minimiert wird. Die automatische Erstellung einer Kachel kann bis zu 3 Minuten dauern. Die Ableitung zeigt, nicht alle Gebäude wurden richtig abgeleitet. Daher muss eine Nacharbeitung erfolgen. Gemäß den Qualitätsanforderungen des LDBV sollten Standarddachformen nicht mehr als einen Meter von der realen Dachfläche abweichen. Jedoch gibt es Ausnahmen, in denen die Abweichung, wie zum Beispiel an Gauben, größer sein kann. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Gebäude jedoch etwas genauer bearbeitet, da dieses Gebäudemodell ein Präsentationsmodell werden soll. Umso genauer hier gearbeitet wird, desto weniger muss die Dachform im CityGRID® Modeler und im SketchUp verbessert werden. Die Dachformen der einzelnen Gebäude des Landtages sind größtenteils sehr einfach. Jedoch ist ein Gebäudeteil, das im Editiermodus in Abb. 32 dargestellt ist, etwas komplizierter. Die symmetrischen Dachaufbauten sind sehr praktisch.

Die Größe des Gebäudeteils mit vielen verschiedenen Dachschrägen erschwert die Bearbeitung und Anpassung mit den Standarddachformen. Daher wurden erst einige Konstruktionslinien gelöscht, die nicht optimal sind, wie die schräge Konstruktionslinie an der Vorderseite des Gebäudeteils. Anschließend wurden die Konstruktionslinien neu gesetzt. Dachflächen, die durch ihre Form zusammengehörten, wurden gruppiert. Vor allem an der Vorderseite musste durch die leichte Rundung darauf geachtet werden, dass das Gebäude vollständig dargestellt wird. Der Grund dafür ist: Wenn in einer Zelle eine freie Fläche größer ist als die Gebäudefläche, wird dieser Teil nicht mehr dargestellt.

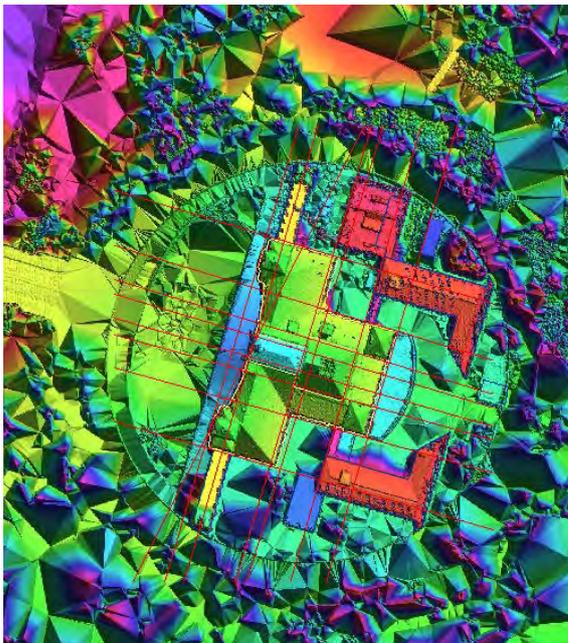


Abb. 32: Gebäudemodell im Editiermodus vor der Bearbeitung mit farbcodierten Rasterbild

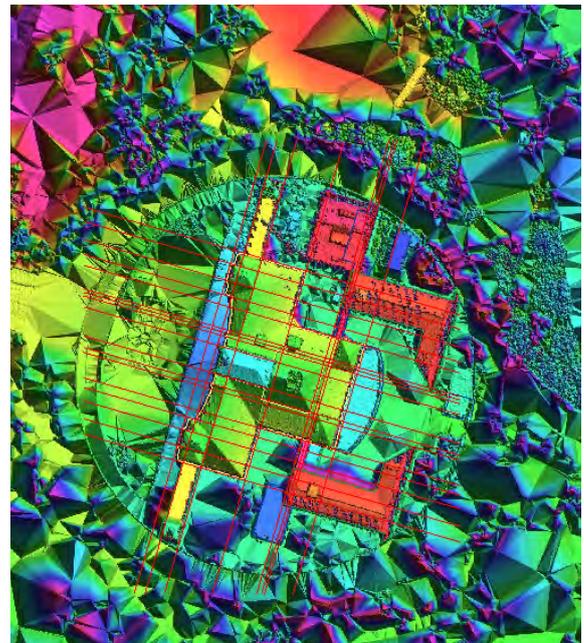


Abb. 33: Gebäudemodell im Editiermodus nach der Bearbeitung mit farbcodierten Rasterbild

Wie Abb. 34 zeigt, stimmen der Grundriss und die Laserscanpunkte manchmal nicht überein. Der Kran in Abb. 35 bestätigt den Neubau des Gebäudes. Das Gebäude wurde katastertechnisch noch nicht neu vermessen bzw. noch nicht in die DFK eingetragen.

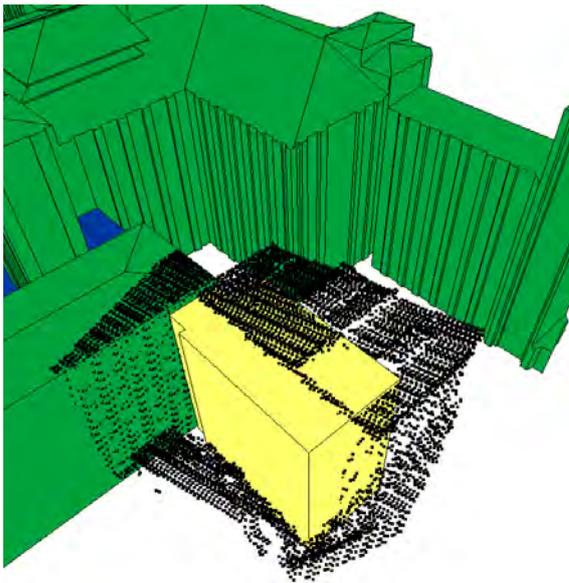


Abb. 34: Neubau eines Gebäudes mit altem Grundriss

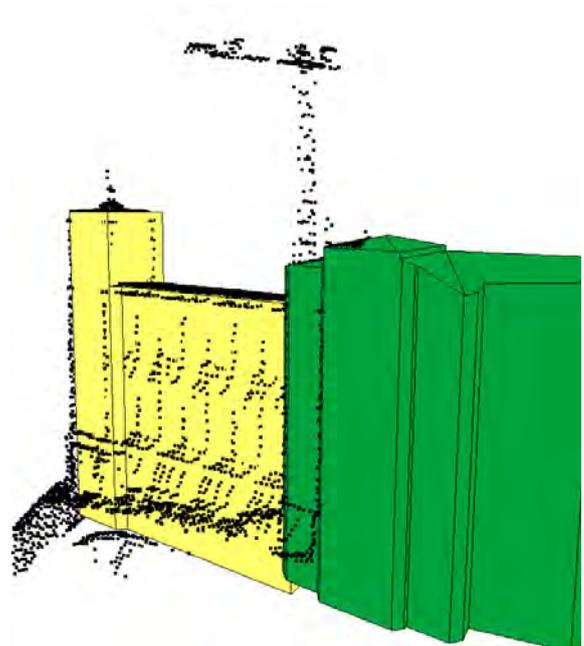


Abb. 35: Darstellung der Laserscanpunkte eines Kranes

Das Gebäude kann im BRec nicht angepasst werden, da es grundrissgetreu in die Datenbank eingespielt werden muss. Jedoch kann es im CityGRID® Modeler auf die neue Form modelliert werden. Das farbcodierte Rasterbild Abb. 36 zeigt, dass das Gebäude eigentlich ein Flachdach hat, jedoch weist dieses Gebäude eine Umrandung auf. Da die Laserscanpunkte und der Grundriss nicht gemeinsam verwendet werden können, um eine Standarddachform abzuleiten, wurde das Gebäude als Extrusionsgebäude erstellt. Mit der Bemerkung „dfk Abriss“ wird das Gebäude im Objekt-Explorer gekennzeichnet. Durch diesen Vermerk kann das Gebäude zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal für eine Fortführung/Aktualisierung automatisch abgeleitet werden, wenn das Gebäude in der DFK neu eingetragen wurde.

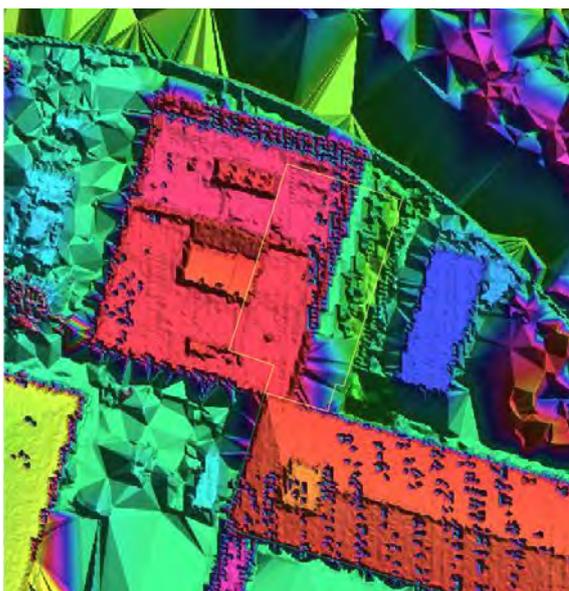


Abb. 36: Alter Gebäudegrundriss und im Hintergrund die neue Gebäudeform

Objekt-Explorer			
Objekt-ID suchen: <input type="text"/>			
	Objekt-ID	Status	Bemerkung
1	5006672	Zellzerlegung	
2	5007037	Zellzerlegung	
3	5006681	Extrusion	dfk Abriss
4	5006680	Zellzerlegung	
5	5006679	Zellzerlegung	
6	5006678	Zellzerlegung	
7	5006677	Zellzerlegung	
8	5006676	Zellzerlegung	
9	5006675	Zellzerlegung	
10	5006674	Zellzerlegung	
11	5006673	Zellzerlegung	
12	5006682	Zellzerlegung	

Abb. 37: Objekt-Explorer mit dem Status des Gebäudes

Von den insgesamt 12 Gebäuden des Ensembles war bei 8 Gebäuden eine manuelle Bearbeitung notwendig und bei 4 Gebäuden war die automatische Ableitung ausreichend. Die bearbeiteten Gebäude sind in Grün und die nicht bearbeiteten sind in Blau in der Abb. 38 visualisiert. Das gelbe Gebäude (Abb. 38 und Abb. 39) stellt nur den aktuellen selektierten Zustand des Gebäudes dar und musste ebenfalls nachbearbeitet werden.

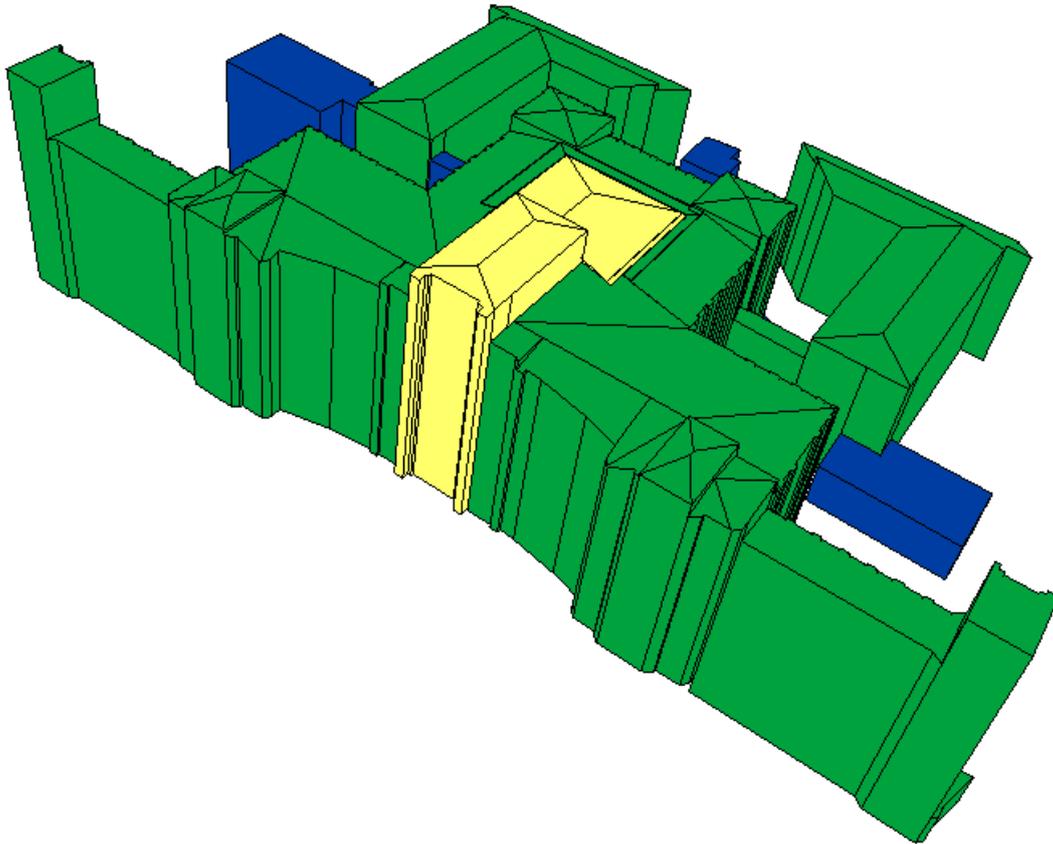


Abb. 38: Modellierung des Landtages im LoD2

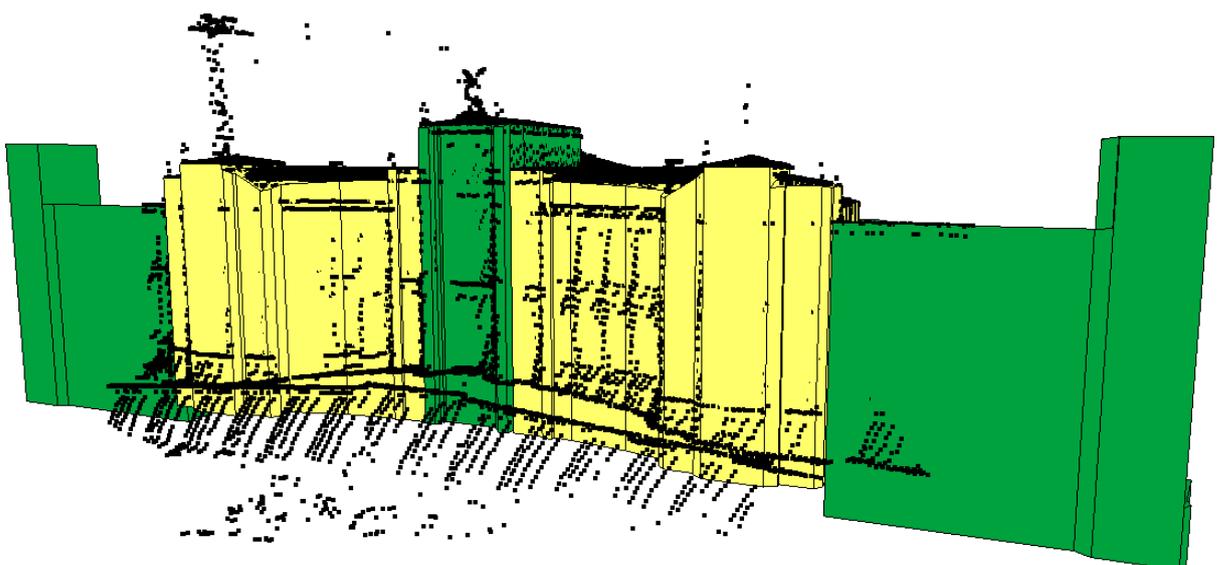


Abb. 39: Vorderansicht des modellierten Landtages im LoD2 mit Laserscanpunkten

### 6 Beispielhafte 3D-Gebäudemodellierung im LoD3

Vor der Bearbeitung der 3D-Gebäude wurde genau festgelegt, welche Elemente für den Bayerischen Landtag am wichtigsten sind und somit den realen Eindruck des Gebäudes so gut wie möglich widerspiegeln sollen. Aus wirtschaftlichen Gründen ist eine hoch exakte Modellierung bei einem so komplexen Gebäude nicht machbar. Das Wichtigste an dem gesamten Gebäudekomplex ist die Vorderseite mit den beiden Türmen und dem Arkadengang. Ebenfalls sind die Figuren und Fahnen auf dem Dach etwas sehr markantes. Es müssen auf jeden Fall alle Dachaufbauten modelliert werden. Der Neubau kann mittels der Fotos über die neue Form analysiert werden. Es müssen eine Durchfahrt und ein Durchgang erstellt werden. An zwei Gebäudeteilen werden Dachüberhänge und an einem kleineren ein Wintergarten modelliert. Vor dem Ende der Modellierung soll um den Gebäudekomplex noch die prägnante Mauer gezogen werden. Diese Elemente werden nun in den nachfolgenden Abschnitten im CityGRID® Modeler und im SketchUp erstellt.

#### 6.1 LoD3-Bearbeitung im CityGRID® Modeler

Um mit dem CityGRID® Modeler arbeiten zu können, wird als erstes das sich im CityGML-Format befindende LoD2-Gebäudemodell in ein importfähiges XML-Datenformat konvertiert. Dieses Modell wird vortexturiert, damit die Größenverhältnisse bei der anschließenden Modellierung stimmen. Nach der Modellierung wird das Gebäudemodell endgültig texturiert, denn beim Verändern einer Fläche verschwindet die Textur wieder.

##### 6.1.1 FME-Konvertierung

Die Konvertierung erfolgt in der Austauschplattform für raumbezogene Informationen in der Software FME Workbench (Feature Manipulation Engine). Diese arbeitet mit der Spatial ETL-Technologie (Extract, Transform, Load). Was so viel bedeutet wie, dass alle möglichen Dateiformate, ob raumbezogen oder nicht, eingelesen, diese in ein internes unabhängiges Format übermittelt und für das entsprechende Zielformat ausgegeben werden können [I-Quelle 2, AGIS]. Es werden Datenflüsse (Workflow) in einer Zeichenoberfläche grafisch definiert und anschließend ausgeführt. UVM liefert vier FME-Dateien, die für die Konvertierung in eine XML-Datei für das LoD2-Gebäudemodell und das digitale Geländemodell benötigt werden (siehe auch „Abb. 15: Konvertierung des CityGML-Formates in ein XML-Format“).

Das 3D-Gebäudemodell im CityGML-Format wird in ein XML-Format umgewandelt (Abb. 40), welches aus Flächen besteht und keine Linienstrukturen enthält. Dieses Modell ist durch die fehlenden Linienstrukturen nicht für die Bearbeitung der Geometrie, sondern maximal für das Texturieren von Flächen, geeignet.

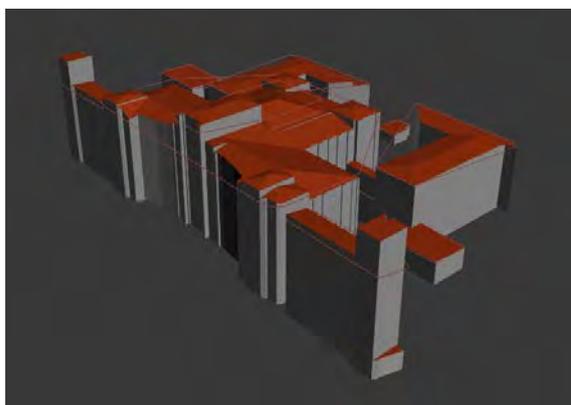


Abb. 40: FME - Landtag - Surface

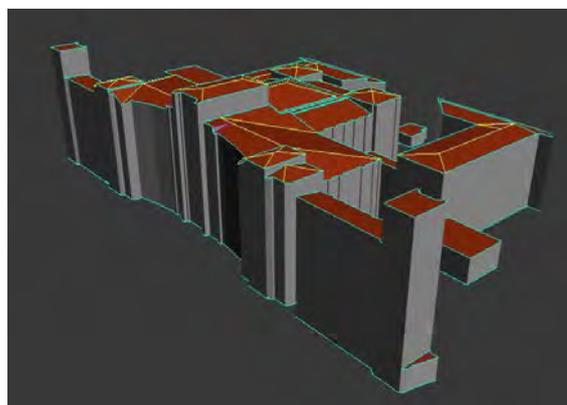


Abb. 41: FME - Landtag - Linien XML

Mit der zweiten FME-Datei erhält die zuvor erstellte XML-Datei die Linienstrukturen (Abb. 41) für das 3D-Gebäudemodell und könnte nun bearbeitet werden. Es besteht die Möglichkeit, ein digitales Geländemodell in die Modellierungssoftware zu laden mit dem Vorteil, dass die Fassaden besser texturiert werden können. Die einzelnen Gebäudemodelle liegen im LoD2 meist nicht auf der gleichen Höhe, was zu einem Problem beim Texturieren der Fassaden von einem Gebäudeteil auf ein anderes führen kann, in Form eines Fassadenversatz beziehungsweise einer Fassadentextur-Verzerrung. Denn die Fassadenflächen werden alle bis zur tiefsten Bodenfläche eines Gebäudes berechnet. Deswegen muss erst das DGM in eine XML-Datei in Form eines TIN (Triangulated Irregular Network) umgewandelt werden. Ein TIN ist ein unregelmäßiges Dreiecksnetz einer Oberfläche (Abb. 42). Die vierte FME-Datei ermöglicht das 3D-Linienstrukturmodell mit dem TIN zu vereinigen. In diesem werden nun nur die Fassadenflächen bis zum Geländemodell berechnet (Abb. 43).

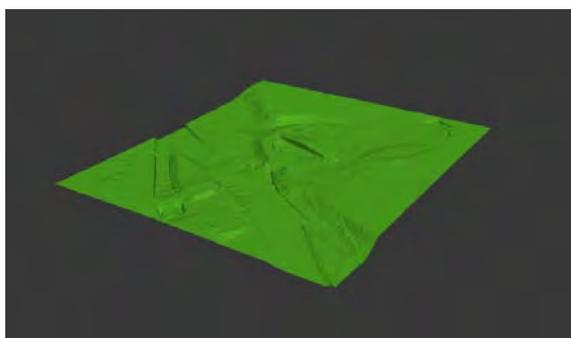


Abb. 42: FME - Landtag - DGM

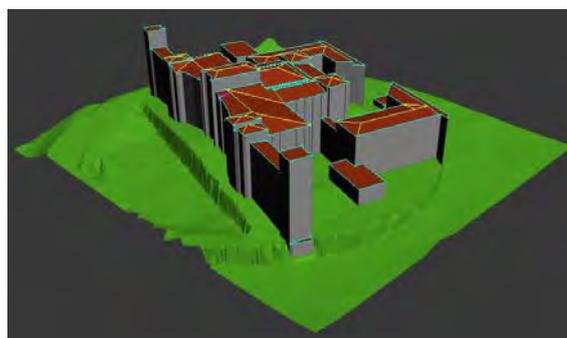


Abb. 43: FME - Landtag - DTM

### 6.1.2 Modellierung

Für die Modellierung wurde zu Beginn das gesamte Gebäude vorläufig texturiert, nur so konnten die Modellierungselemente richtig konstruiert werden. Nach jedem Modellierungsschritt sollte trianguliert werden, um zu erkennen, wie der Flächenbildungsalgorithmus die Veränderung umsetzt. Es kann sein, dass einige Vertices oder „sonstige Hilfslinien“ zusätzlich hinzugefügt werden müssen, damit keine Flächen falsch dargestellt werden. Ebenfalls sollte das Gebäudemodell mehrmals in eine neue XML-Datei exportiert werden, falls doch irgendwelche Phänomene entstehen, die nicht so einfach zu lösen sind, sodass in diesen Fällen auf einen älteren Stand zurückgegriffen werden kann. Gezeichnet wird generell im Zeichenmodus des CityGRID® Modeler mit der Zeichenauswahl einer Fläche bzw. einer Kante. Bestimmte Elemente werden jedoch mit den Werkzeugen des 3ds Max gezeichnet und in den CityGRID® Modeler übertragen, diese werden bei der Erstellung mit beschrieben. Wenn sich ein neues Element an einem Segment oder Vertex mit einem alten Element schneidet, kann beim Zeichnen mit der Aktivierung des Werkzeuges *Snaps Toggle*, des 3ds Max, direkt auf den Vertex oder das Segment gesprungen werden. Dieses ist besonders wichtig, da Schnittpunkte exakt die gleiche Position haben müssen. Wenn dieses nicht der Fall ist, können Fehler in der Darstellung entstehen.

Die einzelnen Modellierungsarten wurden in die folgenden Schritte aufgeteilt und detaillierter beschrieben: Dachaufbauten, Anbau des Wintergartens, Dachüberhang, Durchgang und Treppe, Arkadengang mit Turm, Figuren/Bavaria, Fahnen, Bearbeitung des neuen Gebäudes.

#### Dachaufbauten

Auf die Dächer des Landtages wurden verschiedene Dachaufbauten in der Hierarchieebene der Detail-Elementkomplexe konstruiert. Dafür wurden die Umrandungen der Dachaufbauten von der Dachtexturierung im Layer „äußeres Begrenzungs-polygon“ abgezeichnet. Da in der verwendeten Version des 3ds Max 2014 - ohne die Verwendung der Subskription - keine Laserscanpunkte des

DOM dargestellt werden können, wurde die Höhe der Dachaufbauten über die Laserscanpunkte im BRec geschätzt und so auf einer ungefähren Höhe erstellt. Im ersten Bild der Abb. 44 musste eine Umrandung geschaffen werden. Dafür wurde innerhalb der gegebenen Dachfläche eine kleinere Fläche derselben Form gezeichnet. Die neue Fläche wurde dann selektiert und nach unten verschoben. Dabei muss jedoch in den Element-Eigenschaften der Fassadenoberkante der Typ auf *Elternelement mit Loch* umgestellt werden, denn die ursprüngliche Einstellung lässt keinen Verschnitt in einem Gebäude zu. Nun müssen zwei Detail-Elementkomplexe für die Dachaufbauten, welche sich innerhalb der verschobenen Fläche befinden, erstellt werden. Hierfür werden Rechtecke als oberste Begrenzungen der Dachaufbauten gezeichnet. Um die Flächen nun berechnen zu können, muss die Funktion des Triangulierens verwendet werden. Nach der Triangulierung schweben diese nun in der Luft, weil der Flächenbildungsalgorithmus für die Fassaden bei den Detail-Elementkomplexen nicht weiter nach unten als bis zur Fassadenoberkante des Gebäudes geht. Die Lösung für dieses Problem ist ganz einfach: Es muss bei den Elementen nur ein Boden eingefügt werden. Der Boden kann mit dem Werkzeug *Punkt-Verschiebungstool* auf die gleiche Höhe der Vertiefung angepasst werden. Im zweiten Bild wurden zwei Dachaufbauten als Rechtecke gezeichnet. An einem der Rechtecke befindet sich ein schräges Element. Dieses wurde im Zeichenmodus gezeichnet, wobei gleichzeitig das Werkzeug *Snaps Toggle* für „Edge/Segmente“ aktiviert bleibt und die Vertices direkt auf die Kanten gefangen wurden. Das dritte Beispiel ist ein einseitiges Walmdach. Dafür wurde erst ein Rechteck gezeichnet, das die Höhe der Traufe darstellen wird. Die Form des einseitigen Walmdaches wurde im Layer „sonstige Hilfslinien“ erstellt. Der First wurde mit einer geraden Linie gezeichnet, die sich etwas über die Hälfte des Rechteckes erstreckt. Damit die Schrägen richtig trianguliert werden, wurde von der einen Ecke der Traufe über den Punkt des Firstes und zur anderen Ecke der Traufe eine Linie im Layer „sonstige Hilfslinien“ gezeichnet. Dabei musste wieder das Werkzeug *Snaps Toggle* aktiviert werden. Anders als bei der Erstellung der Schräge, wurde hier nur der Haken bei „Vertex“ gesetzt, sodass die Vertex der Linie genau auf den bestehenden Punkten liegt.

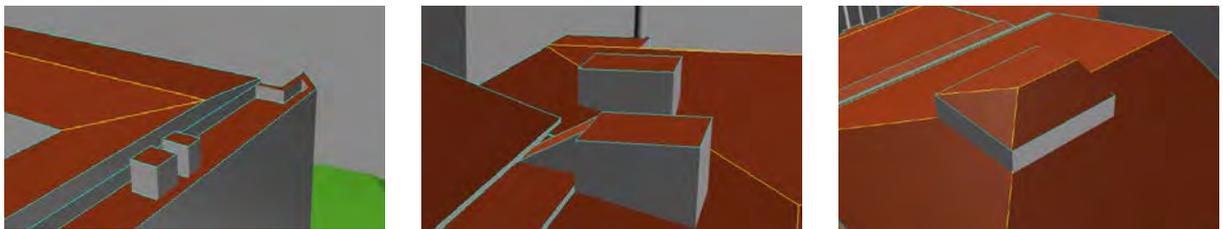


Abb. 44: Verschiedene Dachaufbauten

### Anbau des Wintergartens

An einem Gebäude befindet sich ein Wintergarten, der nicht im Grundriss eingezeichnet war. Dieser wurde als neuer Elementkomplex gezeichnet. Die längere Firstkante, die nicht am Gebäude anliegt, wurde nach unten verschoben, sodass eine Traufe entstanden ist.

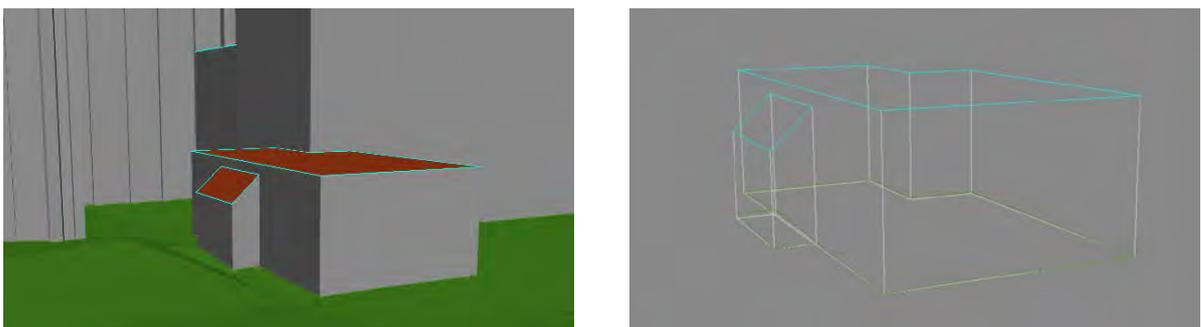


Abb. 45: Wintergarten

### Dachüberhang

An zwei Gebäudeteilen wurden Dachüberhänge modelliert. Dabei wurde zum einen die Traufe selektiert und eine Kopie in die Layerebene für „sonstige Hilfslinien“ kopiert. Es muss nach dem Kopieren beachtet werden, dass die Bindungen beim Verschieben gelöst werden. Die Traufe wird mit dem Werkzeug *Dachüberhang* nach außen verschoben. Durch das nach außen Verschieben behält das Gebäude seine ursprüngliche Größe und wird somit nicht verkleinert. Nun können die Segmente in der Layerebene „sonstige Hilfslinien“ für die Stärke des Dachüberhanges nach unten verschoben werden. Die neu erstellte Traufe wird zu den „sonstigen Hilfslinien“ hinzu kopiert und 0,001 m über die zuvor verschobenen „sonstige Hilfslinien“ platziert. Wenn der Wert gleich ist, kann später keine Textur aufgebracht werden.

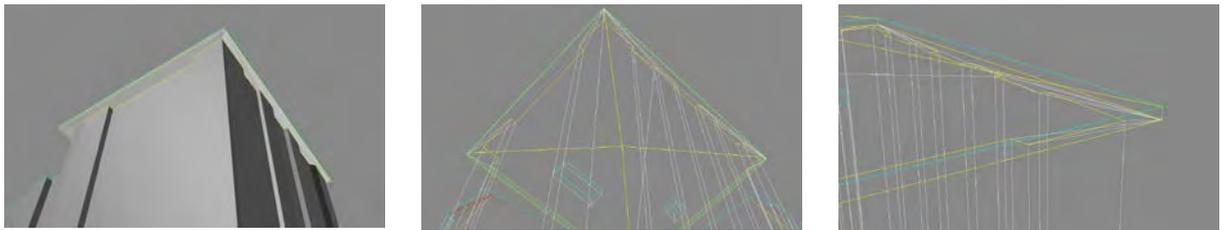


Abb. 46: Dachüberhang

### Durchgang und Treppe

Für den Durchgang wurde ein neues Objekt mit der Objektklasse „Ausparungsobjekt“ modelliert. Es wäre ebenfalls die Objektklasse „Bool'sches Objekt“ möglich gewesen, da hier aber kein Boden eingefügt werden muss, ist dieses nicht unbedingt nötig. Die Höhe und Breite des Durchganges wurden über das Fassadenfoto abgeleitet. Die gleichen Arbeitsschritte wurden bei der Durchfahrt angewendet.

Da die Treppen nicht im Grundriss eingezeichnet waren, wurden diese als Elementkomplex an das vorhandenen Gebäude angehängt. Es wurde ein Rechteck als First gezeichnet. Diese Fläche wurde selektiert und mit der Erstellung des neuen Layers „Boden“ hinein kopiert. Die Stufen müssen über Bruchkanten erstellt werden. Die oberen Bruchkanten werden zuerst von links nach rechts gezeichnet und anschließend werden die unteren Bruchkanten mit dem Werkzeug *Bruchkanten-Tool* erzeugt. Das „äußere Begrenzungs-polygon“ kann mit dem *Snaps Toogle* an die Anfangs- und Endpunkte der Bruchkanten angeheftet werden.

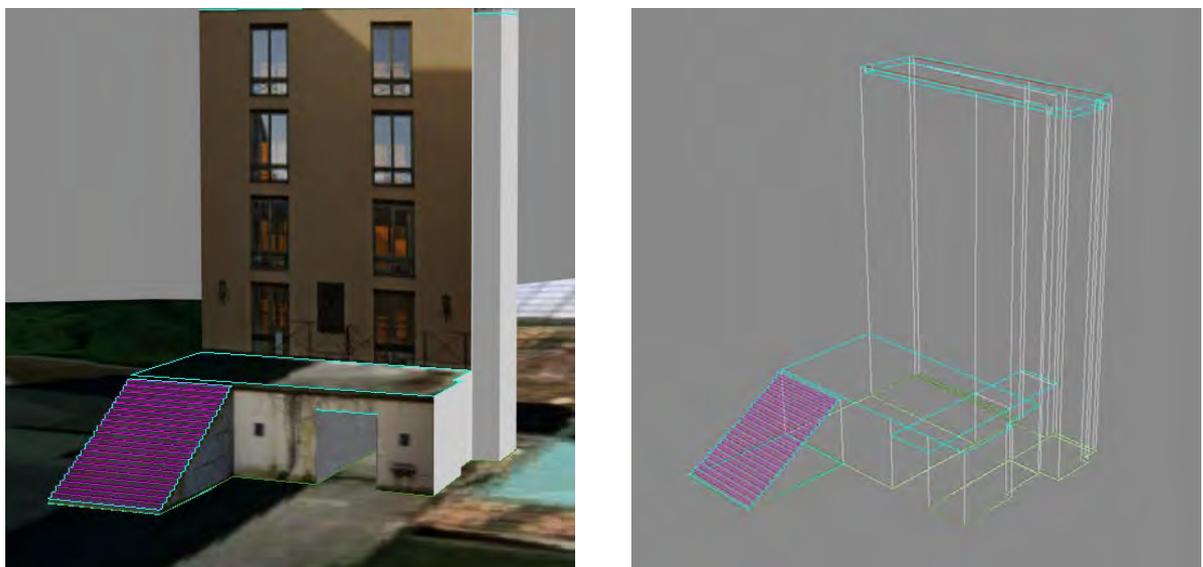


Abb. 47: Durchgang und Treppe

### Arkadengang mit Turm

Der Arkadengang und die Aussparungen des Turmes können mit einem Bool'schen Objekt ausgeschnitten werden. Das Bool'sche Objekt wird hier verwendet, da alle Etagen einen Bodenschicht benötigen. Die Komplexität der Arkadengänge hat das Bool'sche Objekt aus technischen Gründen nicht korrekt triangulieren lassen. Daher wurde das eine Objekt nicht mehr als eines, sondern als mehrere Objekte betrachtet und dementsprechend auch so erstellt. Dieser Weg war bedeutend umständlicher, hat jedoch zum selben Ergebnis geführt. Nach der Fertigstellung der Arkadengänge und der Türme wurde von der Firma UVM auch das technische Problem des Bool'schen Objektes gelöst. Eine Bearbeitung wäre auf diesen Weg nun ebenfalls möglich gewesen. An der Rückseite des Arkadengang-Gebäudes sind die angedeuteten Säulen im Grundriss mit enthalten. Bei der Aufbringung der vorläufigen Textur schnitten sich diese jedoch mit den Rundbögen. Aus diesem Grund wurden diese zwischen die Rundbögen verschoben, daher ist das Gebäude auch nicht mehr grundrisstreu wie in der DFK. Die Rundbögen sind nicht exakt auf die Textur abgestimmt, denn falls das Präsentationsmodell ohne Textur präsentiert wird, sind alle Maße einheitlich und es wirkt nicht schief.

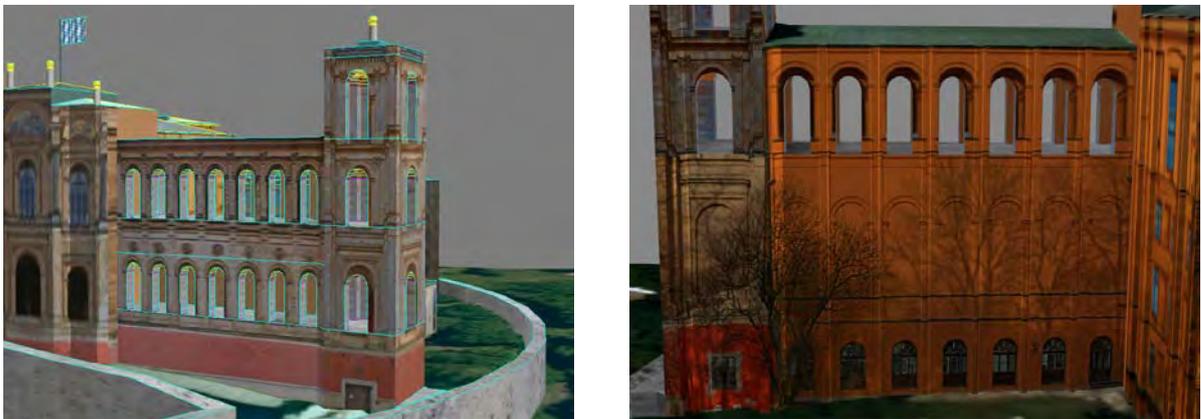


Abb. 48: Arkadengang und Turm

Die erste Etage des Arkadenganges wurde in drei Gebäude, die aneinander stehen, aufgeteilt. Alle drei Dächer bilden nebeneinander das Pultdach des Arkadengang-Gebäudes. Der Unterschied ist der zu erstellende Boden. Von den beiden äußeren Gebäuden endet der Boden jeweils auf dem darunter liegendem Gebäude und auf der Umrandung des Rundbogens. Für die Erstellung des Rundbogens wurde mit den Werkzeugen des 3ds Max zwei *Vielecke*, die parallel und senkrecht zueinander an der Fassade ausgerichtet sind, erstellt und auf die gesamte Anzahl der Rundbögen vervielfacht. Im Layer „sonstige Hilfslinien“ konnten so die einzelnen Linien mit der Aktivierung des *Snaps Toggle* gezeichnet werden. Da Fassaden senkrecht stehen, mussten obere und untere Bruchkanten im Element „Boden“ als Layer eingefügt werden. Der Boden des mittleren Gebäudes wurde auf die Höhe der Decke des Arkadenganges verschoben.

Die Decke des Erdgeschosses wird durch eine Fläche *Boden* dargestellt, dessen Dach als Bodenfläche der ersten Etage dient. Für den Rundbogen wird ebenfalls ein Gebäude erstellt, wie in der ersten Etage. Als Boden dient wiederum ein Gebäude mit dem Element „Dach“, dieses hier benötigt aber keinen Boden, da es bis zur ursprünglichen Bodenhöhe des Gebäudes trianguliert wird.

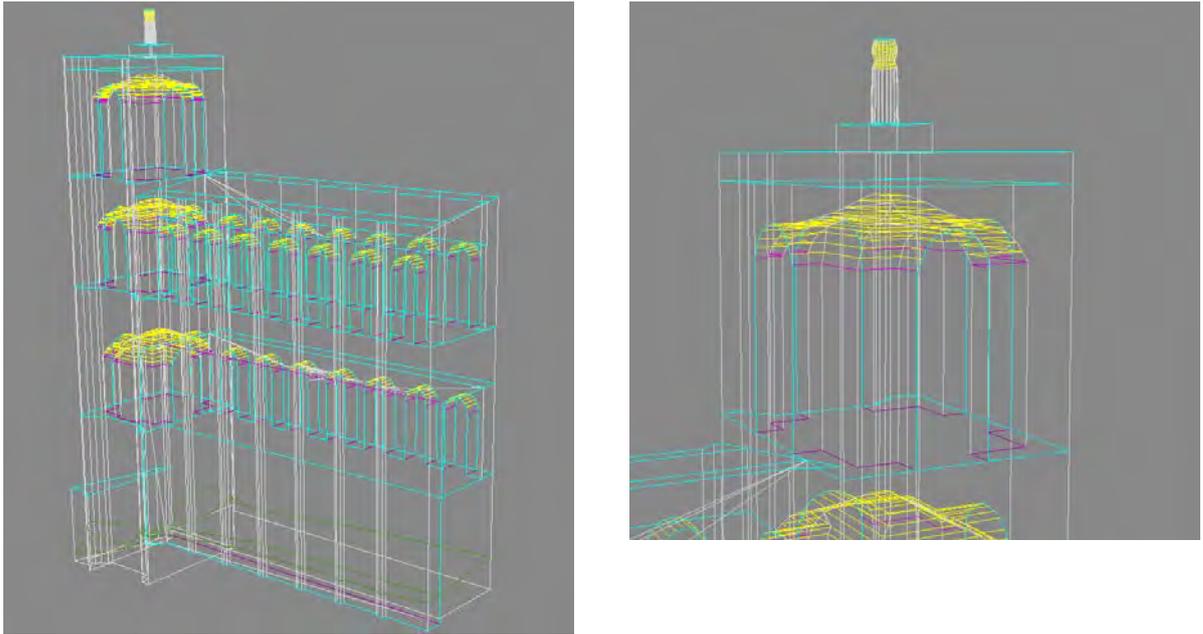


Abb. 49: Arkadengang mit Turm

Für die ausgestanzten Löcher des Turmes wurden aus dem einen Gebäudeteil mehrere Gebäude, die übereinander liegen, erstellt. Das bedeutet, der Fußboden eines Gebäudes ist ebenfalls das Dach des anderen Gebäudes. Die drei Etagen erhielten ein ausmodelliertes Deckengewölbe.

Die Modellierung hat es möglich gemacht, durch den Arkadengang sowie durch den Turm hindurch zu sehen.

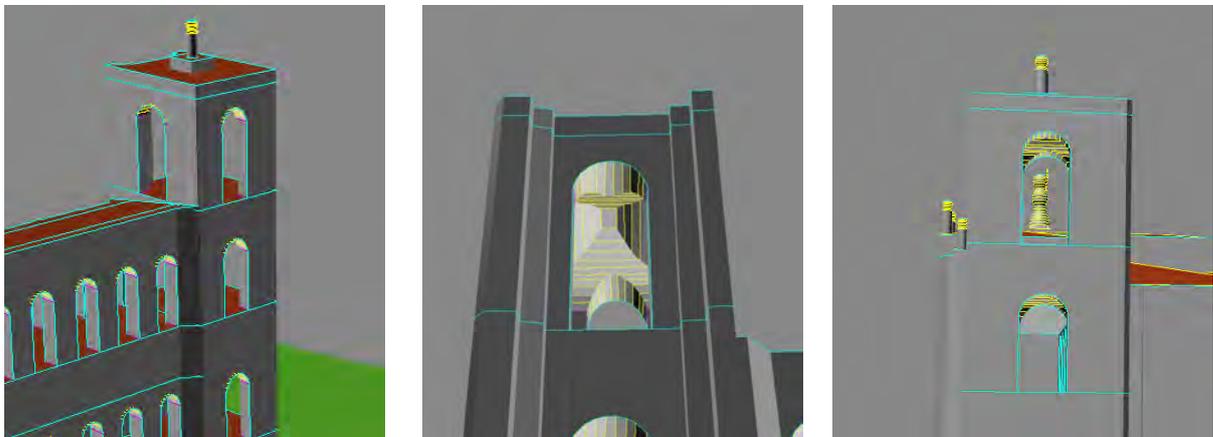


Abb. 50: Turm

### Figuren und Bavaria

Die Figuren auf dem Dach des Landtages müssen modelliert werden, da diese zum gesamten Bild dazugehören. Aus wirtschaftlichen Gründen ist eine zu detaillierte Ansicht der Figuren nicht modellierbar. Bei der Generalisierung wurde entschieden, dass die kleinen Figuren als Säulen dargestellt werden. Lediglich die Bavaria wurde aus den vorhandenen Möglichkeiten, die die Software bietet, grob modelliert. Die „sonstigen Hilfslinien“ des Detail-Elementkomplexes wurden zuvor alle im 3ds Max mit dem Zeichenwerkzeug *Vieleck* in verschiedenen Größen gezeichnet und mit *Attach* in den Modeler übernommen. Es ist wichtig, ein Vieleck zu verwenden, denn ein Kreis besteht nur aus 4 Vertex-Punkten und bei der Triangulierung wird ein Kreis in ein Quadrat verformt. Bei einem Vieleck ist es möglich, die Anzahl der Vertex-Punkte nach oben zu setzen, bis ein Kreis entsteht. Jedoch sollten nicht zu viele Punkte erstellt werden, da diese auch das

Programm verlangsamen können. Die Flügel der Bavaria wurden ebenfalls mit einem *Vieleck* modelliert. Jedoch wurden diese zu einer Ellipse transformiert. Alle Dachelemente mussten an einem Punkt um 0,001 m nach oben beziehungsweise an einem Punkt nach unten verschoben werden, da sonst diese Dachflächen nur mit dem Orthofoto hätten texturiert werden können.

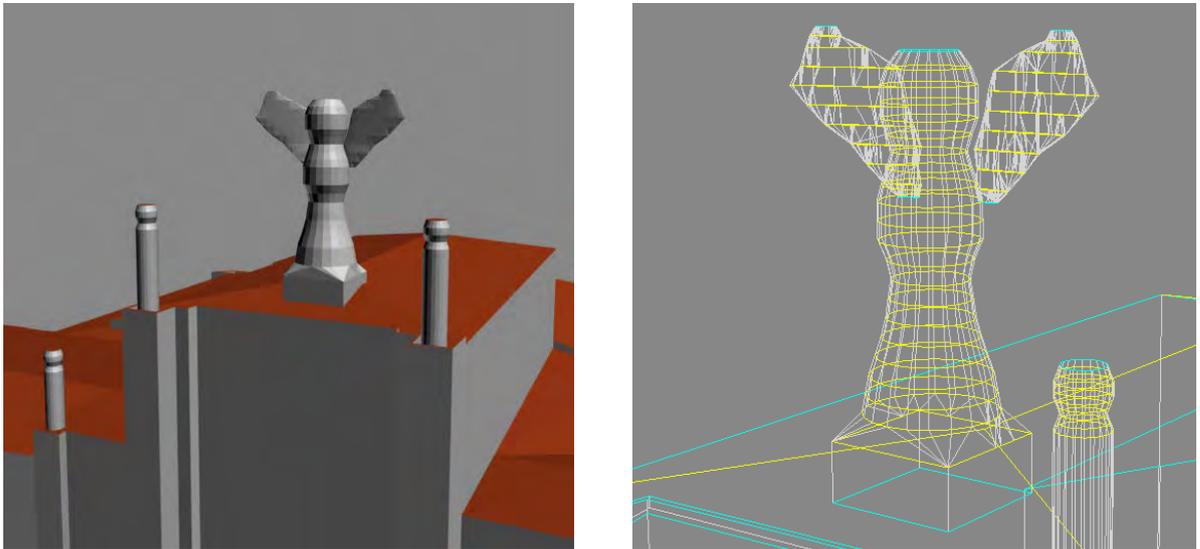


Abb. 51: Figuren und Bavaria

### Fahnen

Die Fahne besteht aus zwei Detail-Elementkomplexen, zum einen aus einer Fahnenstange und zum anderen aus der Fahne. Für die Fahnenstange wurde mit dem Werkzeug *Vieleck* des 3ds Max die obere Kante festgelegt. Mit der Triangulierung werden die Fassaden automatisch bis zur Grenze des Daches gezogen. Jede Fahne kann im Wind wehen oder hängt schlapp nach unten. Sie hängt aber auch nicht senkrecht steif an der Fahnenstange. Da dieses Projekt ein Präsentationsmodell wird, sollte es vor allem natürlich aussehen. Daher wurden beim Zeichnen der Oberkante kleine Wellen mit eingearbeitet, dieses wurde kopiert und nach unten als Bodenelement verschoben. Bei der Verschiebung des neuen Bodenelementes musste jedoch die Bindung vorher gelöst werden.

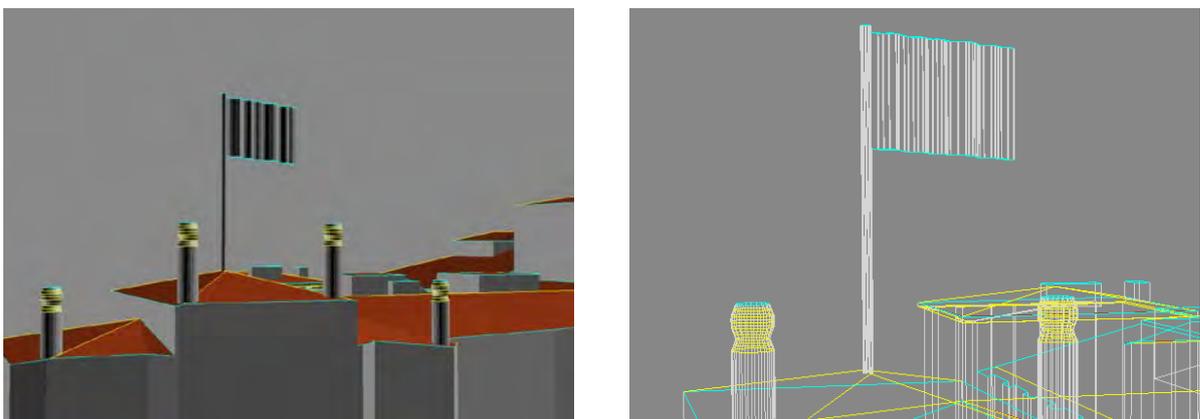


Abb. 52: Fahnen

### Bearbeitung des neuen Gebäudes

Die Größe und die Dachform des neuen Gebäudes kann über die Laserscanpunkte, das farbcoodierte Rasterbild und dem Luftbild aus dem BRec herausgelesen werden. Die Seiten des Gebäudes wurden dementsprechend verschoben. Um den Gebäudeüberhang zu modellieren, wurde ein „Ausparungsobjekt“ erstellt. Es eignet sich hier, weil sich unterhalb des Gebäudeüberhanges

ein Weg befindet und daher kein Bodenelement benötigt wird. Die Höhe kann über die beiden Fassadenfotos auf dessen rechter und linker Seite bestimmt werden. Für die Dachumrandung wurden zwei Rechtecke mit dem Zeichenwerkzeug gezeichnet. Die beiden Dachflächen wurden nach unten verschoben und in den Einstellungen auf Typ *Elternelement mit Loch* umgeschaltet, damit die Fläche bis nach unten extrudiert wird. Die Dachaufbauten wurden hier wie die anderen mit dem Zeichenwerkzeug erstellt, jedoch musste hier ein Boden eingefügt werden, um die Seitenflächen bis zur eigentlichen Dachhöhe darstellen zu können. Für den Durchgang mit Säulen wurde ein Rechteck als Element „Dach“ gezeichnet. Dies wurde vom Haupt-Elementkomplex als eigenständiger Elementkomplex mit dem Werkzeug *Neue Komplexe erstellen* abgelöst. Nach dem Triangulieren entstanden die Fassadenflächen. Die Idee ist, die Säulen durch kleine Aussparungen im Bodenlayer zu erstellen, denn der Flächenbildungsalgorithmus berechnet die Fassadenflächen bis zum digitalen Geländemodell, wenn sich kein Bodenelement zwischen dem Dach und dem DGM befinden.

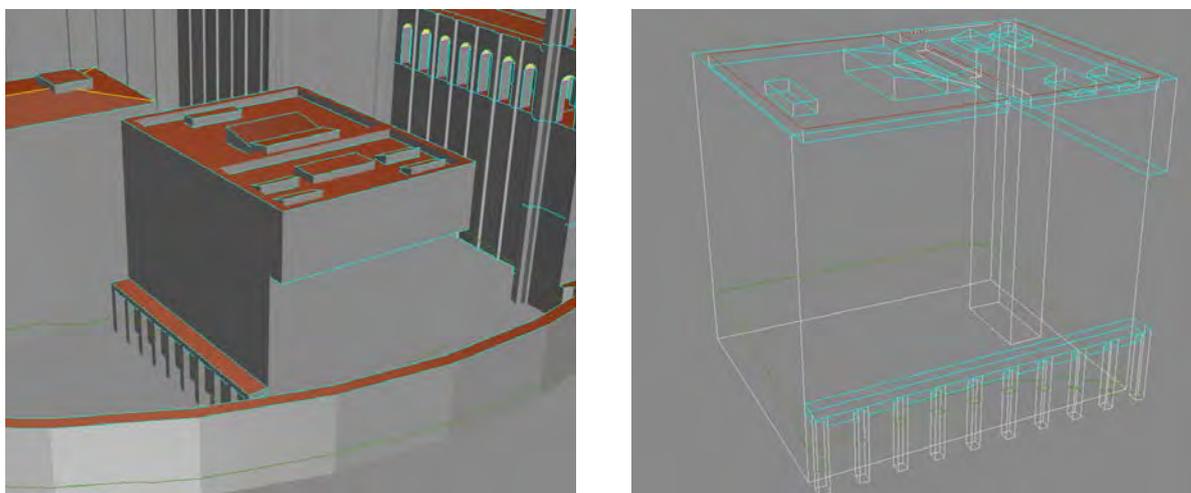


Abb. 53: Neues Gebäude

### 6.1.3 Texturieren der Gebäudeflächen

Für die Gebäudetextur steht ein Luftbild als orientierte Bilddatei und Fotos der terrestrischen Aufnahme zur Verfügung. Das orientierte Bild wird über das Menü CityGRID® Modeler als Modelltextur importiert. Als Einstellung muss der Typ „Ortho“ und das Luftbild ausgewählt werden. Beim Abschließen des Vorganges werden die Informationen mit in die XML-Datei des 3D-Gebäudemodells geschrieben. In den Modelleigenschaften der Datenreferenzen müssen das Gelände und das Dach als Textur ausgewählt werden. Auf alle Elemente mit diesen Informationen wird die Textur aufgetragen. Alle Luftbilder, die sich innerhalb einer Dachstruktur befinden, müssen wegen einer kleinen Abweichung zum 3D-Modell angepasst werden. Dafür müssen nur die entsprechenden Dachflächen im Subselektionsmodus *Rechteckfläche* selektiert und an die exakte Stelle verschoben werden.

Die Bilder der terrestrischen Aufnahme können über das Werkzeug *Material anlegen* angebracht werden. Dafür wird zuvor die Fassade mit all ihren einzelnen Flächen des Elementkomplexes, die texturiert werden sollen, selektiert. Im Eigenschaftenfenster kann nun die Materialquelle bestimmt werden. Für die Fassadentextur der Abb. 55 wird ein neues Material erstellt und dafür das gewünschte Bild ausgewählt. Beim Übernehmen der Materialeinstellungen werden im Texturfenster das Bild und die Geometrie der Fassadenfläche abgebildet. Die Textur erscheint noch nicht auf dem 3D-Modell. Es muss erst die Bestätigung der Anwendung im Texturfenster erfolgen. Im linken Bild der Abb. 54 ist zu sehen, dass die Fassadentextur nicht mit der Geometrie des Flächennetzes übereinstimmt. Die vier Ankerpunkte des Flächennetzes werden nun auf die vier

Eckpunkte des Fassadenbildes verschoben, wie auf dem rechten Bild der Abb. 54 dargestellt. Die graue Linie, die keine Gerade darstellt, ist die Geländeoberfläche. Es muss darauf geachtet werden, dass die untere Kante der Fassade nicht unter dem digitalen Geländemodell verschwindet. Mit der Bestätigung des grünen Hakens wird das perspektivische Fassadenbild transformiert und im 3D-Modell abgebildet.

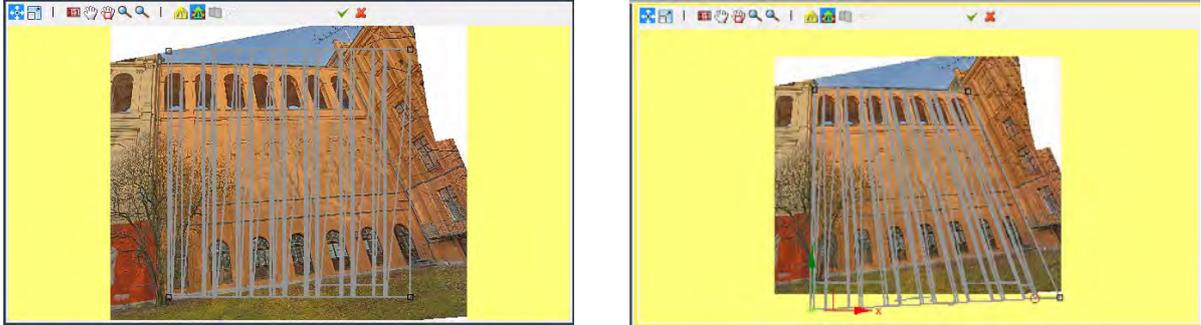


Abb. 54: Arbeitsschritte im Texturfenster

Ist die bearbeitete Fassadenfläche jedoch noch nicht an der gewünschten Position wie in Abb. 55, kann diese im Texturfenster noch einmal ausgerichtet werden.

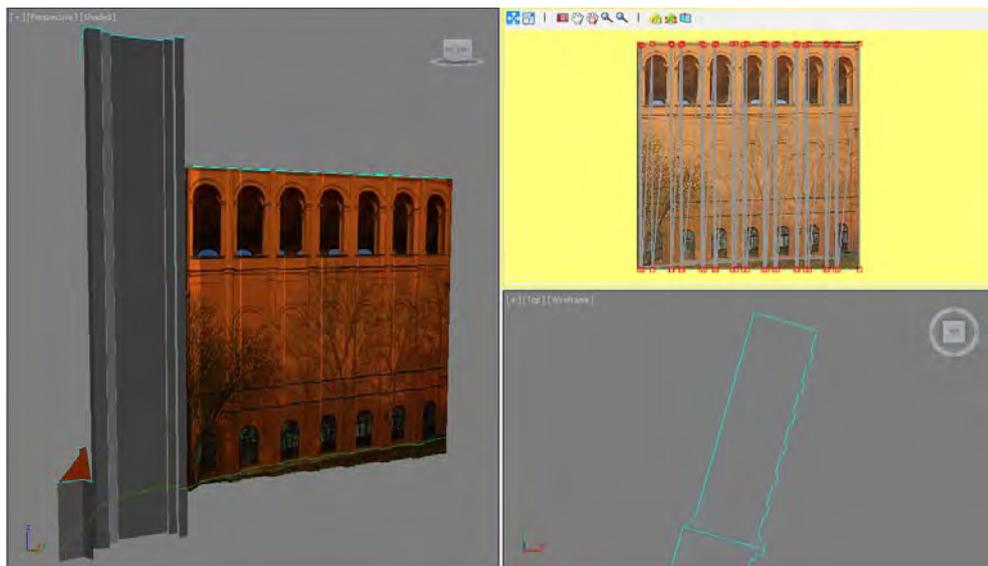


Abb. 55: Erstellte Fassadentextur

Diese Arbeitsschritte werden für alle Fassadenflächen durchgeführt. Kommt eine Fassadenfläche häufiger vor, wird diese kopiert und auf die anderen Flächen aufgebracht. Ist jedoch eine Fassadenfläche zu groß, die eigentlich aus mehreren verschiedenen Flächenbildern besteht, kann diese mit dem Werkzeug *Fassaden unterteilen* über eine eigene gesetzte Teilungslinie aufgeteilt werden. Anschließend können die Flächen ganz normal, wie oben beschrieben, texturiert werden.

### 6.1.4 Ergebnis

Nach dem Modellieren und Texturieren sieht der bayerische Landtag im CityGRID® Modeler, wie in Abb. 56 und Abb. 57 dargestellt aus. An der Vorderseite erkennt man, dass das digitale Geländemodell bereinigt werden muss, da sich dieses teilweise in der Mauer befindet.



Abb. 56: Vorderseite des Landtages



Abb. 57: Rückseite des Landtages

Dieses 3D-Gebäudemodell kann nun als CityGML-Datei exportiert und zum Beispiel für eine bessere visuelle Darstellung im LandXplorer geöffnet werden.

### 6.2 LoD3-Bearbeitung in SketchUp

Die CityGML-Datei des bayerischen Landtages im Detaillierungsgrad LoD2 kann über das Plug-in in SketchUp importiert werden. Mit der aktuellen Version 2014 von Trimble und dem Plug-in gab es technische Probleme. Die Version 8 von Google funktionierte mit dem Plug-in einwandfrei. Alle 3D-Gebäudemodelle mussten zuerst von unnötigen Linien bereinigt werden, danach wurde die Textur aufgebracht und die Modellierung konnte beginnen. Nach der Modellierung wurden die neu hinzugefügten Elemente und teilweise die Flächen des 3D-Gebäudemodell texturiert.

#### 6.2.1 Modellierung

Im SketchUp gibt es keine speziellen Werkzeuge für das Modellieren von 3D-Gebäudemodellen. Es wird hauptsächlich mit dem Werkzeug *Linie* gearbeitet. Für bestimmte Konstruktionen werden verschiedenen Werkzeuge miteinander kombiniert. Mit dem CityGML-Plug-in können die einzelnen Gebäudeflächen dem Gebäudeflächentyp: Dach (*Roof Surface*), Fassade (*Wall Surface*) und Boden (*Ground Surface*) zugewiesen werden.

Genauso wie bei der beschriebenen Modellierungsreihenfolge des bayerischen Landtages im City-GRID® Modeler werden hier die Modellierungsarten in der gleichen Reihenfolge aufgeteilt.

#### Dachaufbauten

Die Dachaufbauten sind fast alle eigenständige Elemente und wurden auf die 3D-Gebäudemodelle angebracht. Für ein aufgesetztes Element wurde eine Fläche mit dem Werkzeug *Rechteck* aufgezo-gen und anschließend auf die entsprechende Höhe des Dachelements extrudiert. Die Vertiefung im ersten Bild der Abb. 58 wurde auf die Dachfläche gezeichnet, selektiert und mit dem Werkzeug *Drücken/Ziehen* nach unten verschoben. Der First und die beiden Kanten wurden im dritten Bild auf das Rechteck gezeichnet. Mit dem Werkzeug *Verschieben* konnte der selektierte First nach oben gezogen werden und es entstand das einseitige Walmdach.

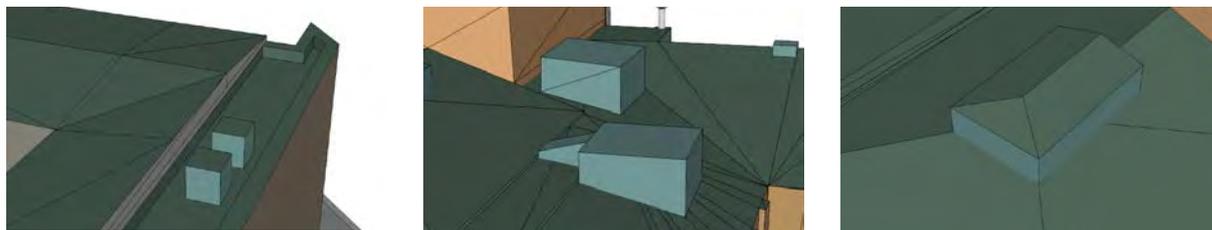


Abb. 58: Verschiedene Dachaufbauten

#### Anbau des Wintergartens

Mit dem Werkzeug *Linie* wurde die Größe des Wintergartens auf die Fassadenfläche gezeichnet. Diese Fläche wurde auf die entsprechende Tiefe extrudiert. Die Traufe entstand in dem die vorderste Kante nach unten verschoben wurde.

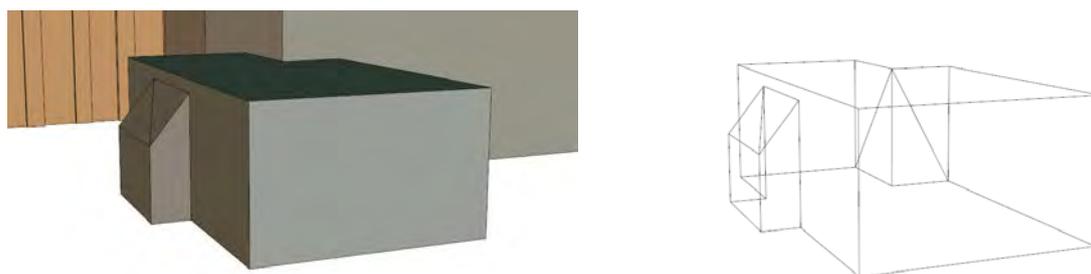


Abb. 59: Wintergarten

### Dachüberhang

Der Grundriss des Gebäudeteils an dem die beiden Dachüberhänge modelliert wurden, besteht nicht aus vier geraden Linien, sondern besitzt auch eine Art unregelmäßiger Einbuchtungen. Zuerst wurden für die untere Kante des Dachüberhanges um den Gebäudeteil Linien gezeichnet. Die Einbuchtungen die sich am zu erstellenden Dachüberhang befinden, werden durch das Zeichnen von Linien und dem Extrudieren der Flächen geschlossen. Die Flächen können nun für den Dachüberhang nach außen extrudiert werden. Die oberste Kante des Dachüberhanges wird nun an die Dachschräge angepasst. Die vier Ecken des Gebäudeüberhanges mussten nun noch aufeinander angepasst werden.

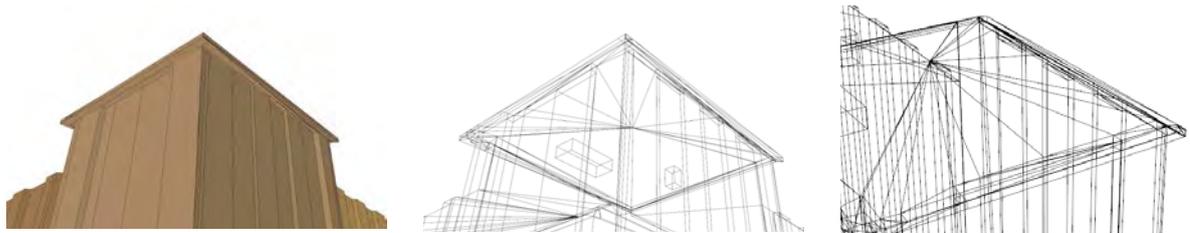


Abb. 60: Dachüberhang

### Durchgang und Treppe

Auf die beiden texturierten Fassadenflächen wurden die Umrisse des Durchganges abgezeichnet und die entstandenen Flächen der Eingänge gelöscht. Der Durchgang wurde durch das Verbinden der beiden Eingänge erstellt und der Boden entfernt.

Die Treppe wurde als eigenständiges Objekt erstellt. Dafür wurde eine Fläche vertikal aufgezogen. Mit dem *Linien* Werkzeug sind die Stufen digitalisiert worden. Durch das Extrudieren bildeten sich die dreidimensionalen Stufen.

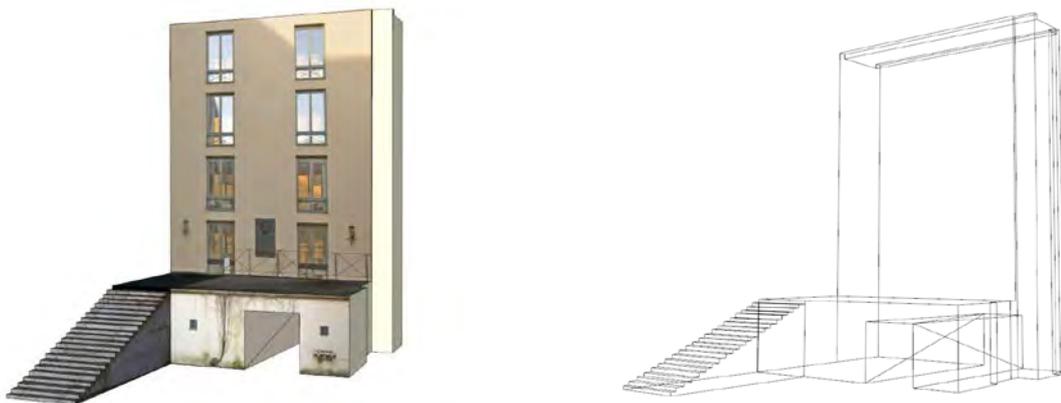


Abb. 61: Durchgang und Treppe

### Arkadengang mit Turm

Die Hohlräume der Arkadengänge und der Türme sollten durch das Erstellen von Objekten mit dem Gebäude subtrahiert werden. Während der Modellierung wurde festgestellt, dass das Subtrahieren nur in der Version SketchUp Pro möglich ist. Die Aussparungsobjekte wurden aus den Werkzeugen *Linie*, *Bogen* und *Drücken/Ziehen* modelliert. Für die fertig konstruierten Aussparungsobjekte wurden die Flächennormale umgekehrt. Das 3D-Gebäudemodell konnte mit den Aussparungsobjekten verschnitten werden. Jedoch musste nach der Verschneidung auf die Fassadenflächen des 3D-Gebäudemodells die Linien der Verschneidung abgezeichnet werden. Die Flächen der Fensterausparungen konnten aus der Fassade gelöscht werden und die Hohlräume des Turmes und des Arkadenganges wurden sichtbar.



Abb. 62: Arkadengang und Turm

Es kommt häufiger vor, dass Flächen nur durch das Bilden von Dreiecken geschlossen werden. Wenn es möglich ist, sollten die Dreiecksflächen bereinigt werden. Das Gittergerüst wird sehr unüberschaubar wie im linken Bild der Abb. 63 zu sehen ist.

Nach der Erstellung eines der Gebäude mit dem Arkadengang und Turm wurde dieser gespiegelt und auf die andere Seite des Hauptgebäudes gesetzt. Optisch gesehen sind die beiden Seiten des Landtages gleich, jedoch ist der Grundriss von beiden Seiten nicht symmetrisch. Für ein Präsentationsmodell sind die minimalen Abweichungen akzeptabel. Ist die spätere Verwendung auf Grundrisstreue wichtig, darf das Gebäude nicht gespiegelt werden.

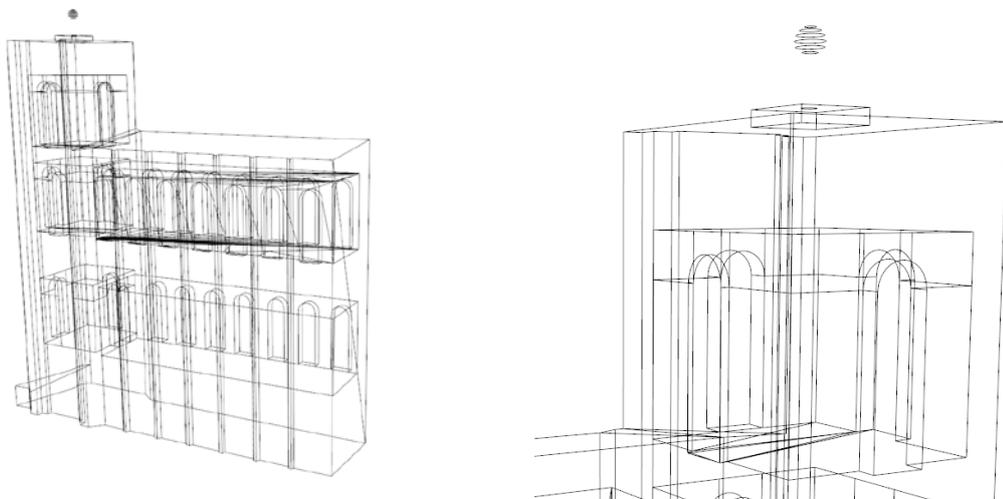


Abb. 63: Arkadengang mit Turm

In den unteren Abbildungen sind verschiedene Blickwinkel auf den Turm dargestellt sowie die mögliche Sicht durch den Turm hindurch.

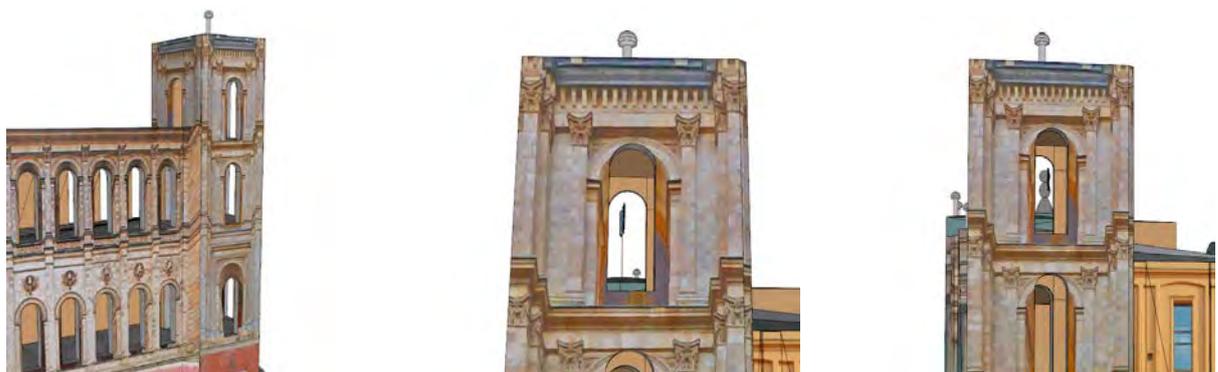


Abb. 64: Turm

### Figuren und Bavaria

Die kleinen Figuren werden hier aus einer kleinen Säule und mit einer Kugel modelliert. Ein Kreis wurde für den Boden aufgezogen und nach oben extrudiert. Der Querschnitt der Kugel wurde mit dem Werkzeug *Bogen* erstellt. Um eine Kugel zu erhalten, wurde die Linie mit dem Werkzeug *Folge mir* geschlossen. Da die Figur mehrfach vorkommt, kann die Figur als Komponente erstellt und direkt auf die Positionen gesetzt werden. Für die Bavaria wurde eine Fläche vertikal aufgezogen. Auf diese Fläche wird die Form des Querschnittes mit dem *Freihand* Werkzeug beziehungsweise dem *Bogen* Werkzeug aufgezeichnet. Der Rest der Fläche, der nicht die Bavaria darstellt, wird gelöscht. Der Volumenkörper entsteht, in dem der Querschnitt der Bavaria selektiert und mit dem Werkzeug *Folge mir* ausgeführt wird. Die Flügel wurden ebenfalls auf eine 2D-Fläche gezeichnet und mit dem Werkzeug *Versatz* verkleinert. Um ein 3D-Objekt zu erhalten, werden die Flächen noch extrudiert.

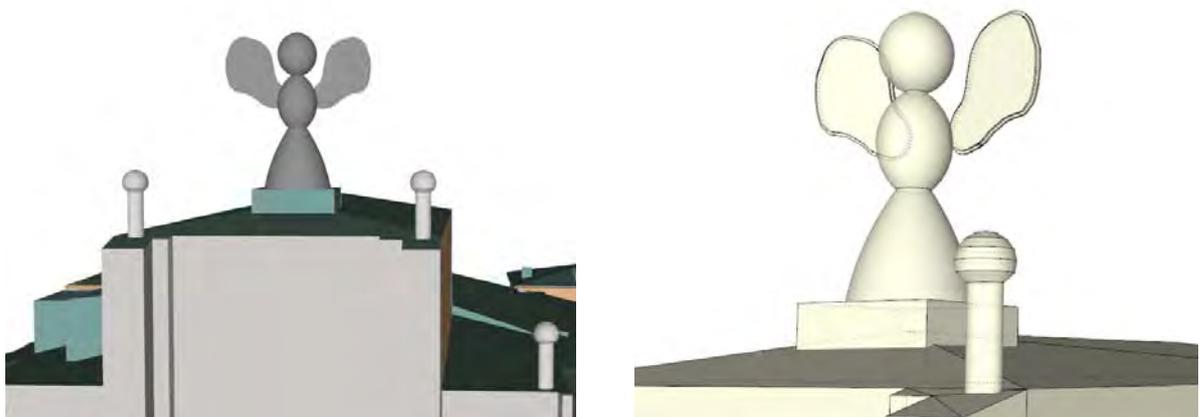


Abb. 65: Figuren und Bavaria

### Fahnen

Der Durchmesser der Fahnenstange entstand durch das Aufziehen eines Kreises. Dieser wurde auf die ungefähre Höhe der Fahnenstange extrudiert. Die Fahne selbst besteht ursprünglich aus einer vertikalen Fläche und wurde mehrfach unterteilt. Die neu konstruierten Linien sind nach vorn und hinten verschoben worden, um eine wehende Fahne darzustellen.

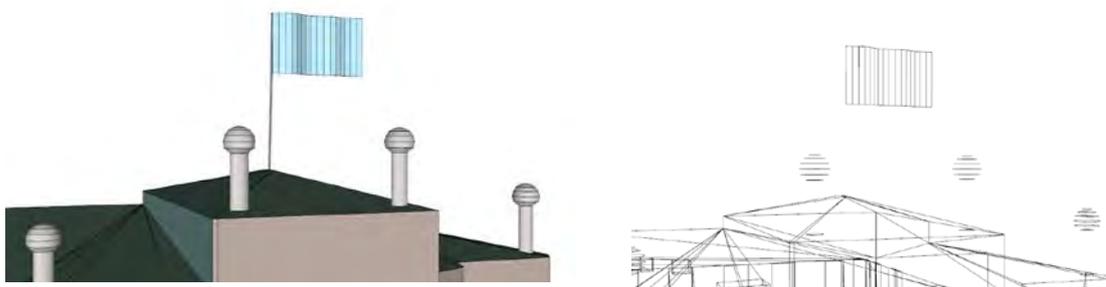


Abb. 66: Fahnen

### Bearbeitung des neuen Gebäudes

Das alte Gebäude wurde zuerst an die Größe des neu gebauten Gebäudes angepasst. An der Fassadenseite des Gebäudeüberhanges wurde eine vertikale Linie gezogen. Von den beiden neu entstanden Flächen wurde die untere für den Überhang nach innen extrudiert. Für die Umrandung des Daches wurden zwei Flächen gezeichnet und nach unten verschoben. Das gleiche ist für die Dachaufbauten gemacht worden, nur diese sind nach oben extrudiert worden.

Der Durchgang mit den Säulen ist ein eigenständiges Objekt und ist an der unteren Kante des Gebäudes angebracht. Die Säulenbreite konnte mit Hilfe der Textur auf die Fassade gezeichnet werden. Die Durchgangsflächen wurden gelöscht und die Fassadenflächen der Säulen wurden nach innen extrudiert.

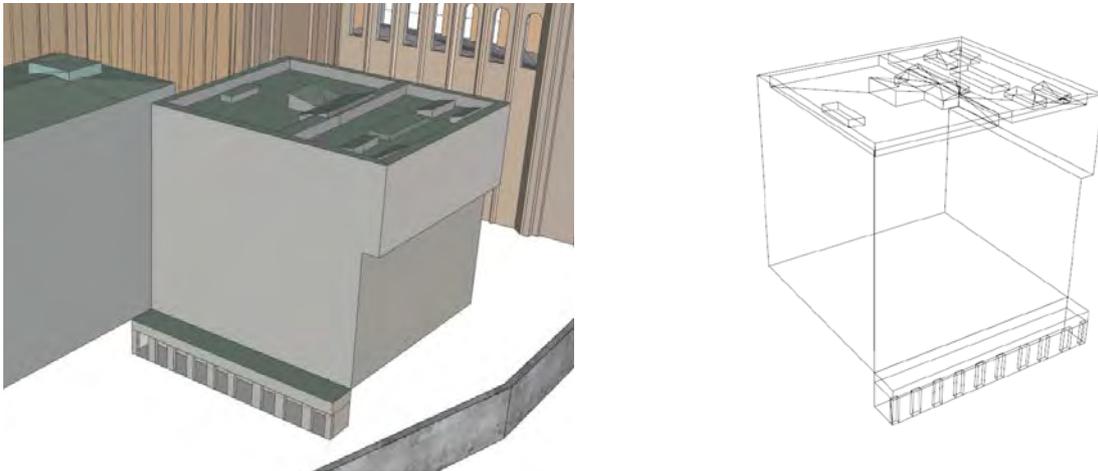


Abb. 67: Neues Gebäude

### 6.2.2 Texturieren der Gebäudeflächen

Eine Fläche in SketchUp besteht aus einer Vorderseite in der Farbe Weiß und der Rückseite in Blau. Eine Vorderseite muss in einem 3D-Objekt immer nach außen gerichtet sein. Für eine Gebäudeseite, die aus mehreren einzelnen Flächen besteht, wird eine Fläche (siehe nachfolgende Abbildungen) davon texturiert. Die Ausrichtung des Fassadenbildes wird auf die gesamte Fassadenseite transformiert. Damit nicht jede Fläche neu ausgerichtet werden muss, wird das Werkzeug *Materialprobe* (Symbol mit einer Pipette) ausgewählt, die bereits texturierte Fläche wird angewählt und auf die restlichen Flächen vervielfältigt. Vor dem Vervielfältigen muss jedoch für die restlichen Flächen die Textur auf die Auswahl *projiziert* gesetzt werden.

Die einzelnen Bilder werden in SketchUp als neues Material für die Materialienverwaltung erstellt. Beim Laden des Bildes, sollte die Bildgröße auf die ungefähre Größe der Fassade gesetzt werden. Oft wird ein Wert angegeben, der unter einem Meter liegt, obwohl die Original Größe des Bildes viel größer ist. Die nicht fixierten Reißzwecken (Passpunkte) können somit schneller auf dem Bild in die vier Eckpunkte der Fassade gesetzt werden.



Abb. 68: Arbeitsschritte im Texturfenster

Danach werden die vier Reißzwecken auf die Fassadenecken des 3D-Gebäudemodell verschoben. Mit dem Verschieben wird das Bild transformiert.

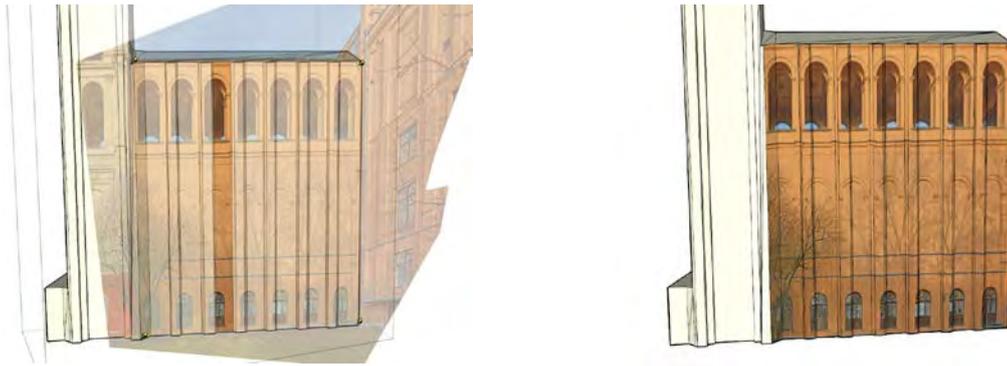


Abb. 69: Erstellte Fassadentextur

### 6.2.3 Ergebnis

Der bayerische Landtag sieht nach der Bearbeitung in SketchUp aus, wie in den beiden unteren Abbildungen dargestellt.

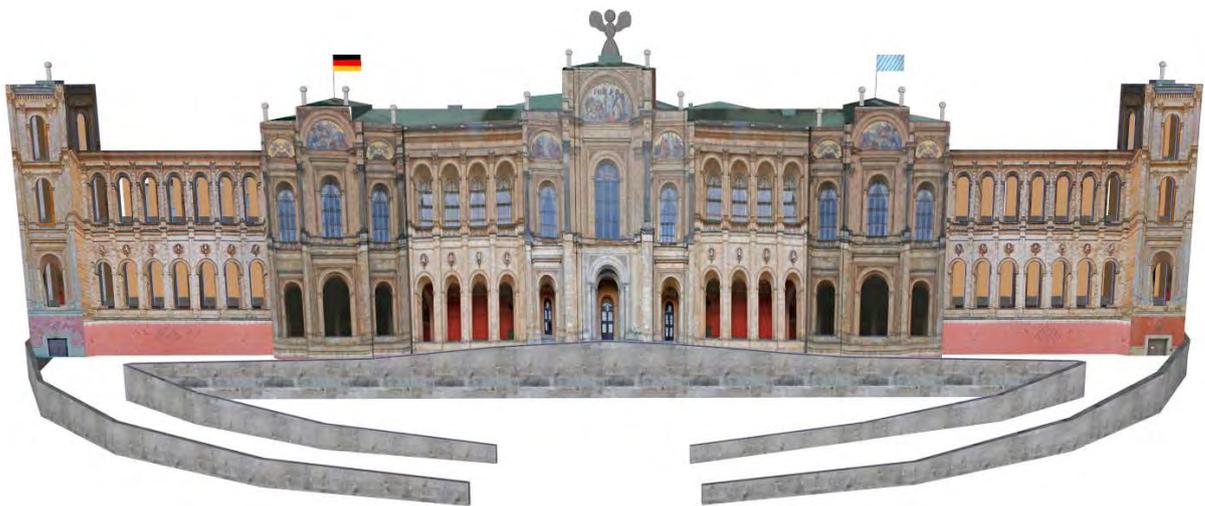


Abb. 70: Vorderseite des Landtages



Abb. 71: Rückseite des Landtages

### 6.3 Bewertung

Ein erster Vergleich zwischen den 3D-Bearbeitungsprogrammen CityGRID® Modeler und SketchUp erfolgt in diesem Abschnitt. Einige Vorteile, die die beiden Softwarepakete für die 3D-Gebäudemodellierung bieten, werden als Anforderungen für den Fragebogen mit verwendet.

Vor dem Texturieren und Modellieren mussten die Fassaden des bayerischen Landtages fotografiert werden. Um den Innenhof des bayerischen Landtages betreten zu können und dann dort zu fotografieren, musste zuvor eine Genehmigung dafür organisiert werden. Darüber hinaus war es nicht immer möglich, jede Gebäudefläche durch ein einzelnes Foto abzudecken. Es wurden daher mehrere Fotos aufgenommen, die anschließend in einem Bildbearbeitungsprogramm wie Adobe Photoshop zusammengesetzt. Die Textur des Daches lag bereits als Luftbild vor. Neben dem Zusammensetzen der Bilder im Photoshop wurden diese teilweise transformiert und nicht gewünschte Erscheinungen retuschiert. Die Farben der einzelnen Fassadenbilder waren nicht identisch, deswegen wurde eine Farbanpassung durchgeführt.

Die Basis der Ausgangsdatei war das 3D-Gebäudemodell des bayerischen Landtages im Detaillierungsgrad LoD2 im CityGML-Dateiformat. Beide Softwarepakete mussten zuvor installiert werden. Für den Import der CityGML-Datei wurde für SketchUp ein Plug-in benötigt. Der CityGRID® Modeler benötigte als Basisprogramm zuvor den 3ds Max. Als Import in den Modeler dient eine XML-Datei. Mit der FME wurde die CityGML-Datei in eine XML-Datei konvertiert, um ein zu bearbeitendes Liniengerüst zu erhalten. Nach der Konvertierung kann im CityGRID® Modeler sofort mit der Bearbeitung gestartet werden. Das importierte LoD2-Gebäude in SketchUp muss zuvor bereinigt werden. Der Grund dafür ist, es entstehen unerwünschte Linien und Kanten, die eine Bearbeitung erschweren. Bei der Korrektur werden Flächen nicht immer automatisch geschlossen, daher muss eine Linie quer über die Rechteckfläche gezogen werden. Das Bereinigen in SketchUp kann je nach Komplexität des 3D-Gebäudes sehr zeitaufwendig sein. Die Grundrisstreue kann durch das Bereinigen der Gebäude verloren gehen.

Über vier Punkte können die Bilder in beiden Programmen transformiert und aufgebracht werden. SketchUp hat hier den Vorteil, dass Flächen, die bearbeitet werden und dabei ihre Größe verändern, texturiert bleiben. Wird im CityGRID® Modeler eine Flächengröße verändert, muss auf diese Fläche die Textur wieder neu aufgebracht werden. Das Texturieren der Dachflächen ist durch das automatische Ableiten des Luftbildes wesentlich schneller. Durch einen leichten Umklappeffekt des Luftbildes mussten die Dächer im Texturfenster auf dem Luftbild verschoben werden.

Mit der Kombination der unterschiedlichen Werkzeuge in SketchUp sind alle Arten von Modellierungen zu bewerkstelligen. Die meisten Modellierungen werden mit dem *Linien* Werkzeug durchgeführt. Ebenfalls ist es möglich, Objekte zu spiegeln. Der Modeler kann leider keine Objekte spiegeln. Im CityGRID® Modeler sind spezielle Werkzeuge für die Gebäudemodellierung verfügbar, wie das *Dachüberhang-Tool*. Unpraktisch ist es, wenn ein Element auf einen anderen Layer kopiert wird und dann dieses unabhängig vom anderen Element verschoben werden soll. Das Lösen der Bindung wurde vor dem Kopieren immer wieder vergessen.

Die Software SketchUp ist verständlich und kann daher auch sehr schnell alleine erlernt werden. Der CityGRID® Modeler ist am Anfang viel schwerer zu verstehen als SketchUp, da dieser zum Beispiel im Strukturaufbau komplexer ist. Eine Schulung ist daher zwingend erforderlich. Die gleichzeitige 2D- und 3D-Ansicht macht die Modellierung im Modeler wesentlich einfacher und durch das farbige Liniengerüst, ist einiges besser zu erkennen.

Der CityGRID® Modeler ist spezieller für eine Modellierung von 3D-Gebäudemodellen und daher möglicherweise besser als SketchUp geeignet.

## 7 Vergleichsstudie

Die Vergleichsstudie der vier Softwarepakete wird über eine Auswertung eines Fragebogens durchgeführt. Der Aufbau dieser Studie wird in dem nachfolgenden Abschnitt erläutert, sowie die Ergebnisse der Firmenumfrage beziehungsweise der durch eigene Recherchen ausgefüllte Fragebogen ausgewertet. Ebenfalls werden hier einige Werkzeuge der einzelnen Softwarepakete auf deren Methoden für die Modellierung verglichen.

### 7.1 Erstellung des Fragebogens

Vor der Erstellung des Fragebogens müssen einige wesentliche Fragen beantwortet werden, wie zum Beispiel:

- Wie soll der Fragebogen beantwortet werden?
- Welche wesentlichen inhaltlichen Aspekte muss der Fragebogen aufweisen?

Der Aufbau eines Fragebogens ist für die Beantwortung und deren Auswertung sehr wichtig, um ein Ergebnis durch die Befragung zu erhalten (vergleiche hierzu zum Beispiel Kirchhoff et. al. [14, 2000], Pilshofer [25, 2001] oder Porst [26, 2014]). Ein Fragebogen kann mit verschiedenen Befragungstechniken beantwortet werden. Dabei spielen der Zweck der Datenerhebung und die daraus folgende Art der Kontaktaufnahme eine entscheidende Rolle. Methodisch wird dies durch persönliche, postalische, E-Mail- oder Internet-Befragungen oder telefonische Interviews durchgeführt [28, Potthoff et. al., 2000]. Der Zweck dieses Fragebogens ist es, herauszufinden, welches Softwarepaket am besten für die 3D-Gebäudemodellierung im LoD3 geeignet ist. Die Befragungsmethode muss daher genaue Angaben liefern sowie kostengünstig und schnell sein. Ein kurzes telefonisches Gespräch kann erste schnelle Informationen liefern, ob die Software für die 3D-Gebäudemodellierung im LoD3 für die Anforderungen der Modellierung ausreicht. Persönliche Gespräche mit Softwareunternehmen sind mit einem hohem Zeitaufwand und erheblichen Kosten verbunden. Es könnten jedoch komplexere Fragestellungen und spontane Fragen beantwortet werden. Eine Internet-Befragung ist eher etwas für das Ansprechen einer größeren Zielgruppe und ist weniger für eine begrenzte Anzahl an Softwarefirmen geeignet. Zeitlich schneller und günstiger als einen Fragebogen per Post zu versenden ist es, diesen per E-Mail zu verschicken. Die Rücklaufquoten verschickter Fragebögen können aber sehr gering ausfallen. Da jedoch Softwarefirmen ihre Softwarepakete verkaufen möchten, besteht hier die Bereitschaft zur Beantwortung des Fragebogens. Der Fragebogen dieser Masterarbeit wurde daher als interaktive PDF-Datei erstellt und per E-Mail versendet. Eine ansprechende Gestaltung des Fragebogens fördert die Motivation des Befragten [27, Porst, 2001]. Es gilt immer eine angemessene Schriftart sowie eine gut lesbare Schriftgröße auszuwählen. Für eine übersichtliche Darstellung des Fragebogens sollte sich zwischen den einzelnen Fragen genügend Platz befinden. Sind Fragen in Themenbereiche aufgliedert, ist es praktisch, diese jeweils auf einer neuen Seite zu beginnen. Zu viele Seiten in einem Fragebogen sind aber nicht geeignet. Alle Fragentexte und Antwortfelder sollten die gleiche Bauweise besitzen. Am Anfang des Fragebogens muss dem Befragten erläutert werden, wie der Fragebogen aufgebaut ist und beantwortet werden soll.

Die Fragen können auf unterschiedliche Arten und Weisen gestellt werden. Die korrekte sprachliche Ausdrucksweise hilft Fehler in der Beantwortung zu vermeiden [22, Moosbrugger et. al., 2012]. Ebenso muss darauf geachtet werden, dass nicht mehrere Aussagen in einer Frage vorkommen. Der Befragte sollte schon beim ersten mal Durchlesen die Frage beantworten können. Eine Auswertung ist nur dann eindeutig, wenn die Fragestellung und dessen Beantwortung ordnungsgemäß erfolgen. Die schnellste Methode ist es, kurze und verständliche Fragen in einem sehr umfangreichen Fragebogen beantworten zu lassen, in dem gefragt wird, ob die Software dafür geeignet ist oder nicht. Die Fragestellungen sind daher möglichst nur mit „Ja“ und „Nein“ zu

beantworten. Jedoch ist es nicht möglich, alle Fragen dieses Fragebogens so zu stellen. Es müssen ebenfalls Fragen schriftlich beantwortet werden, denn nur so können weitere Informationen über das Softwarepaket herausgefunden und ausgewertet werden. Hybridfragen, die eine Kombination aus festgelegten und offenen Fragen darstellen, sind für manche Fragen eine geeignete Lösung [31, Schnell et. al., 2011]. Die Softwarefirmen können am Ende des Fragebogens spezielle Informationen über ihre Software, für die es keine Fragen im Fragenkatalog gibt, ergänzen.

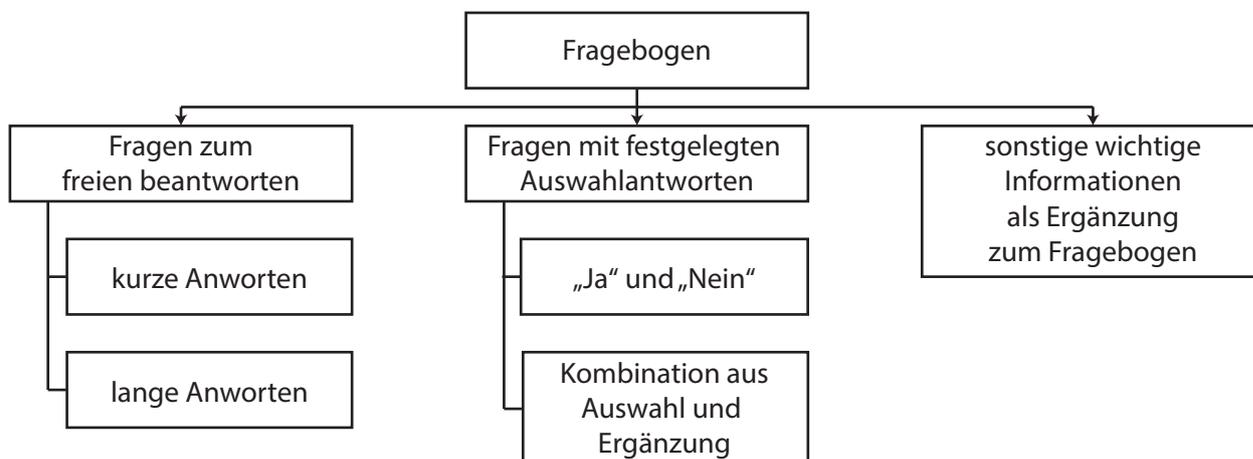


Abb. 72: Gestaltung der Fragenformulierungen

Die inhaltlichen Aspekte beziehen sich zum einen speziell auf die Erstellung und Fortführung eines 3D-Gebäudemodells als Landmark im Level of Detail 3, und zum anderen auf verschiedene Anforderungen des LDBVs sowie auf wirtschaftliche Punkte. Alle Aspekte wurden in einer Stoffsammlung zusammengetragen und über sachliche beziehungsweise inhaltliche Verbindungen in unterschiedliche Bereiche sortiert. Es ergaben sich die acht Fragenbereiche: Allgemeines, Import und Export in das Softwareprogramm, Modellierung, Texturieren, Systemvoraussetzungen, Software Lizenz, Schulungen und Beispiele für die Modellierung. Nach dem achten Fragenbereich wurde ein neunter Bereich ergänzt, der dem befragten Softwareunternehmen die Möglichkeit gibt, weitere wichtige Informationen über dessen Softwarepaket zu erwähnen. Es werden nun einige Fragen der Bereiche auf deren Hintergrund erläutert.

### 1. Bereich: Allgemeines (Fragen auf Seite 91)

Zu Beginn des Fragebogens muss herausgefunden werden, wie das Softwarepaket für die 3D-Gebäudemodellierung arbeitet. Die 3D-Modellierungssoftware kann beispielsweise einen Ansatz von zeichnerischen Werkzeugen, Schnittstellen zur Programmierung oder zur Integration von terrestrischen Digitalphotos haben. Daher kann auch die Basis der Flächenbildung voneinander abweichen. Jedes Softwarepaket besitzt eine andere Benutzeroberfläche. Für die Modellierung kann es von Vorteil sein, wenn eine 3D-Ansicht sowie eine 2D-Ansicht des Gebäudemodells zur selben Zeit unterstützt werden. Eine Verwaltung der Gebäude durch bestimmte Hierarchien oder Layerebenen vereinheitlicht ein 3D-Modell.

Die Voraussetzung des LDBV ist, dass einzelne LoD2-Gebäude, die im BRec erstellt wurden, für eine Modellierung in der Detaillierungsstufe LoD3 veredelt werden können. Die Landmarks des LDBV sollen hauptsächlich für Präsentationszwecke dienen. Aus diesem Grund kann der amtliche Grundriss eines Gebäudes aus bestimmten Anlässen minimal abweichen, was jedoch vermieden werden sollte. Die Einhaltung der Grundrisstreue von 3D-Gebäudemodellen ist für bestimmte Zielgruppen und Nutzungsbereiche wichtig, daher werden in der nachfolgenden Tabelle einige Beispiele aufgezählt. Diese Beispiele wurden im Rahmen der Arbeitsgruppe „Anwendungen und Zielgruppen“ der SIG3D im Rahmen der Initiative GDI-NRW erbracht.

Level of Detail	Zielgruppe und Anwendungsbe- reich	3D-Daten	Genauigkeit, DHM Rasterweite	Katasterbezug
LoD 1 bis 3	Telekommunikation (Funknetzplanung)	DHM Stadtmodelle	DHM 50m Stadtmodell 2-3m	weniger wichtig
LOD 2 bis 3	Umwelt-, Grundwasser- schutz	Geländemodell (Oberfläche und Untergrund)	0,25m	wichtig
	Sicherheitsdienste/ Katastrophen- schutz	Gebäudemodelle, Stadtmodelle	0,5m bis 5m	wichtig
	KFZ-Navigation, (Mobile Endgeräte, MMS)	Digitales Gelände- modell, Stadtmodell	DGM 1m Stadtmodell 0,5m	wichtig
LOD 2 bis 4	Stadtplanung Städtebau	Geländemodell, Stadtmodell	DHM 1m, Stadtmodell <0,5m	sehr wichtig
LOD 3	Straßenplanung, Verkehrsplanung	Geländemodell, Stadtmodell	Geländemodell: 0,3 bis 0,1m Stadtmodell: 0,1m	sehr wichtig
LOD 3 und 4	Versorgung / Entsorgung / Stadtwerke	DHM Stadtmodell	dm bis m	wichtig
	kommunale Wirt- schaftsförderung	Gebäude / Stadtmodelle	5m	wichtig
	kommunale Touris- musförderung	Geländemodell, Stadtmodell	DHM 10m, Stadtmodell 2m	unwichtig
	Katastrophen- schutz / Feuerwehr	Geländemodell, Gebäudemodelle	Stadtmodell 1m	sehr wichtig
	Denkmalschutz	Geländemodell, Stadtmodell	Stadtmodell 0,5m	weniger wichtig

Tab. 1: Zielgruppen und Anwendungen für Digitale Stadtmodelle [Albert et. al.]

Für die Präsentation der Landmarks wäre es interessant, diese in Verbindung mit 3D-Gebäudemodellen in ein Vegetationsmodell oder mit bewegten Animationen wie Verkehr in der Software visualisiert zu können.

## 2. Bereich: Import und Export in das Softwareprogramm (Fragen auf Seite 92)

Neben vielen Dateiformaten, die für den Import und Export vorhanden sind, kann es auch möglich sein, einen direkten Zugriff auf eine bestehende Datenbank zu haben. Der Datenimport sollte sich nicht nur alleine auf die Integration eines 3D-Gebäudemodells in das Softwarepaket beschränken, sondern auch den Import eines digitalen Geländemodells oder von Laserscanning-Daten unterstützen. Dieses würde bei der Modellierung helfen.

Die LoD2-Gebäudemodelle liegen in einer Datenbank im Gauß-Krüger-Koordinatensystem des 12° Bezugsmeridians vor und können für die Modellierung in folgende Datenformate als CityGML, 3ds, dxf, kmz und 3DShape exportiert werden. Für den Export des Softwarepaketes muss gewährleistet sein, dass das 3D-Gebäudemodell georeferenziert ist. Ohne die Georeferenzierung ist eine Aufbereitung von weiteren Geodaten für Präsentationszwecke nicht möglich.

Die amtlichen Geodaten in Deutschland und Österreich haben nicht das gleiche Koordinaten- und Höhensystem. In Bayern werden amtliche Geodaten im Gauß-Krüger-Projektionssystem des 4. Meridianstreifens prozessiert. Der 4. Meridianstreifen befindet sich im 12° Bezugsmeridian. Das Niveau des Deutsche Haupthöhennetzes 1992 (DHHN92) bezieht sich auf den ehemaligen Pegel von Amsterdam. In der österreichischen Landesvermessung ist das Referenzsystem das MGI (Militärgeographisches Institut). Österreich wird durch die Meridianstreifen M28, M31 und M34 abgedeckt. Das Höhensystem beruht auf dem Pegel von Triest 1875 und hat einen Höhenunterschied zum DHHN92 von - 34 cm.

Die unterschiedlichen Koordinatensysteme erschweren den Geodaten austausch zwischen den Ländern. Die Lösung ist ein einheitliches System. Daher sollen die amtlichen Geodaten in ein bis zwei Jahren auf das UTM-System (Universal Transverse Mercator) in Deutschland bezogen auf das GCG (German Combined Quasigeoid) 11 Geoid umgestellt werden. Nicht nur außerhalb der Länder gibt es mehrere Koordinatensysteme, auch innerhalb der Länder können die Bundesländer voneinander abweichende Systeme verwenden. Dies ist auch auf die föderalistische Organisation des Vermessungswesens in Deutschland zurückzuführen. Die Zentrale Stelle Hauskoordinaten und Hausumringe (ZSHH) wird innerhalb dieses Jahres 2014 einen flächendeckenden 3D-Gebäudebestand im Koordinatenreferenzsystem ETRS89, bezogen auf das Ellipsoid GRS80 und dem DHHN92 im Level of Detail 1 auf Grundlage des CityGML-Formates, deutschlandweit bereitstellen können [3, Aringer et. al., 2013].

### **3. Bereich: Modellierung (Fragen auf Seite 93)**

Die Modellierung eines 3D-Gebäudes kann für Präsentationszwecke sehr umfangreich und aufwendig sein. Um jedoch die Faktoren Zeit und Kosten im Rahmen zu halten, sollte nicht alles sehr detailliert erstellt werden. Schließlich würde es reichen, wenn nur ausgewählte charakteristische Elemente eines Gebäudes modelliert werden würden. Wobei die Dachform eines 3D-Gebäude-modells exakt die des Originalgebäudes widerspiegeln muss. Dazu zählen alle möglichen Dachaufbauten wie Gauben oder Schornsteine. Durch die Laserscanpunkte war bei der Modellierung der LoD2-Gebäude ersichtlich, dass viele Dächer über den eigentlichen Gebäudegrundriss herausragen. Dieses sollte daher ebenfalls dargestellt werden.

Landmarks sind unter anderem Kirchen. Die Dachform eines Glockenturmes weicht so gut wie immer von einer Standarddachform ab, daher müssen diese, wie zum Beispiel Zwiebeltürme, modellierbar werden. Sie besitzen auch keine rechteckigen Fenster, sondern häufig gotische Fenster (Maßwerkfenster), was etwas komplizierter zu modellieren sein wird. Weitere Charakteristiken von Gebäuden sind: Arkadengänge, Durchfahrten, Säulen, Balkone, Wintergärten, Figuren oder Fahnen. All diese Elemente und noch weitere sollte die Modellierungssoftware für 3D-Gebäudemodelle im LoD3 aufweisen können.

### **4. Bereich: Texturieren (Fragen auf Seite 93)**

Texturen können auf verschiedenen Grundlagen beruhen, wie auf einer synthetischen Textur durch Farb- oder Muster-Bibliotheken, einer synthetischen Textur, die die Oberflächenstruktur eines Gebäudes realistisch wirken lässt, oder einer Fotografie. Jedes dieser Texturen hat seine Vor- und Nachteile für die Anwendung eines 3D-Gebäude-modells. Synthetische Texturen sind kostengünstiger und benötigen bedeutend weniger Speicherplatz als Fotografien [5, Bauer et. al.]. Die langfristige Nutzung ist daher entscheidend. Ein Landmark wird am besten über Fotografien dargestellt. Im Gegensatz dazu sind synthetische Texturen an 3D-Stadtmodellen für mobile Navigationssysteme eingesetzt. Für das Texturieren von Dächern können (True-)Orthofotos beziehungsweise für Fassaden Schrägluftbilder zum Einsatz kommen. Mit den georeferenzierten Daten wäre eine automatische Ableitung möglich.

## **5. Bereich: Systemvoraussetzungen (Fragen auf Seite 94)**

Die Rechner können für das Modellieren von einzelnen 3D-Gebäudemodellen mit den Mindestanforderungen für die Software ausgestattet sein. Jedoch sollten die empfohlenen Anforderungen an die Hardware denen der Softwareunternehmen gleichen. Ein Rechner wird vor allem beim Texturieren eines 3D-Gebäudemodells an seine Grenzen gebracht. Neben den erfüllten Anforderungen an Hardware und Software können auch mögliche Produkterweiterungen (Extension) aus wirtschaftlichen Aspekten für ein Unternehmen geeignet sein. An der beispielhaften Erstellung des Landtages wurden zusätzlich zur Modellierungssoftware noch weitere Softwarepakete, wie für den Import, benötigt. Nicht immer sind die geforderten Softwarepakete schon vorhanden, also kann es besser sein alles in einem Softwarepaket zu erwerben, als mehrere einzelne Softwarepakete anzuschaffen.

## **6. Bereich: Software Lizenz (Fragen auf Seite 94)**

Software Lizenzen sind häufig sehr teuer. Es ist daher wichtig zu wissen, wie viele Mitarbeiter für die Erstellung von 3D-Gebäudemodellen im Detaillierungsgrad LoD3 zeitlich eingesetzt werden müssen. Eine Erstellung kann sporadisch auf Anforderung oder intensiv betrieben werden. Lizenzen können oft einzeln, stückweise oder für einen Server gekauft werden.

## **7. Bereich: Schulungen (Fragen auf Seite 95)**

Das Erlernen eines Softwarepaketes alleine braucht seine Zeit. Neben Handbüchern, der Internetrecherche und Tutorials sind Schulungen eine willkommene Sache für Unternehmen. Es können in kürzester Zeit die Grundlagen und Funktionen der Modellierungssoftware besprochen werden. Vor allem auf die späteren Anforderungen der 3D-Gebäudemodelle und der daraus folgenden Bearbeitung kann in einer Schulung speziell eingegangen werden, denn nicht alle Softwareprodukte sind auf den ersten Blick gleich anwenderfreundlich. Ebenfalls weichen das Verständnis und die Kenntnisse über 3D-Gebäudemodellierungen der Mitarbeiter voneinander ab.

## **8. Bereich: Beispiele für die Modellierung (Fragen auf Seite 95)**

In der Theorie ist oft alles möglich, nur an der praktischen Umsetzung kann es schnell scheitern. Darum gilt es, bestimmte Elemente für die Modellierung auszuwählen und diese an kleinen Beispielen von den Softwareunternehmen modellieren zu lassen. Die Erstellung sollte theoretisch und durch Nachweise der praktischen Umsetzung mit Screenshots erfolgen. Die Beispielm Modelle im LoD2 werden vom LDBV in den Datenformaten CityGML-, KML- beziehungsweise Shape-Datei zur Verfügung gestellt.

## 7.2 Vorbemerkung zur Auswertung des Fragebogens

Ein eindeutiges Ergebnis einer Auswertung kann nur über eine Notenskala erfolgen. Die Kriterien können vom Erfüllungsgrad der Frage, ausgehend von „teilweise möglich“ bis hin zu „nicht vorhanden sein“, bewertet werden. Nicht jede Frage ist eine festgelegte Anforderung, sondern kann auch den „Mindestanforderungen“ entsprechen. Einige Anforderungen wären „Wünschenswert“, müssen jedoch nicht erfüllt werden. Ein LoD3-Gebäude kann zum Beispiel für Präsentationszwecke verwendet werden und muss deswegen nicht unbedingt alle Anforderungen erfüllen. Die restlichen Fragen sind „sonstige informative Kriterien“, die mehr Verständnis über das Softwarepaket geben. Dadurch ist es möglich, die einzelnen Fragen mit einer unterschiedlichen Gewichtung zu bewerten. Jedes Unternehmen hat seine eigenen Anforderungen, daher müsste die Gewichtung individuell für alle angepasst werden.

Aus den untergeordneten Punkten des 4. Abschnittes „Softwarepakete zur LoD3-Gebäudemodellierung“ geht hervor, dass die Softwarepakete eine sehr unterschiedliche Vorgehensweise in der Ausführung haben. Daher ist ein Vergleich für die Modellierung von 3D-Gebäuden über eine Bewertung mit einer Notenskala eventuell schwer möglich. Aus diesem Grund erfolgt keine Notenbewertung. Die Ergebnisse des Fragenkataloges werden in einer Tabelle gegenübergestellt. Unterhalb der Themenbereiche wird eine textliche Auswertung der Informationen erfolgen. Eine Erwartung ist es, mit den Kriterien dieses Fragebogens eine relativ schnelle Auswahl zu treffen, welches der vier Softwarepakete speziell für das LDBV geeignet ist.

## 7.3 Auswertung des Fragebogens

Der an die Softwarehersteller versendete Fragenkatalog wurde von den Firmen Esri, 3DCon GmbH und UVM Systems weitgehend ausgefüllt. Die Fragen für die Software SketchUp wurden selbstständig durch Recherche ausgefüllt. Mit der Auswertung des Fragebogens kamen jedoch noch weitere Fragen hinzu, diese wurden durch weitere Kontaktaufnahmen mit den Firmen und eigener Recherche beantwortet. Die Beantwortung der Fragen ist teilweise auf die gesamte 3D-Produktpalette der Unternehmen erfolgt. Die Ergebnisse müssen daher etwas kritischer betrachtet werden.

Neben der textlichen Beantwortung der Fragen, werden Informationen mit einem „X“ gekennzeichnet, die das Vorhandensein beziehungsweise das nicht Vorhandensein der Anforderung widerspiegeln. Falls eine Angabe nicht vollständig bewiesen werden kann, erfolgt ein Strich „-“.

Der ausführliche Fragenkatalog befindet sich im Anhang „12.1 Fragenkatalog“ auf Seite 91.

Anforderungen		CityEngine		CG® Modeler		SketchUp		tridicon® A.	
		Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
<b>Allgemeines</b>									
1.	Basis der Gebäudeerstellung								
	CityEngine	Programmierung CGA (Computer Generated Architecture) Scripting und Polygonzeichenwerkzeug							
	CityGRID® Modeler	Editier- und Zeichenwerkzeuge							
	SketchUp	Editier- und Zeichenwerkzeuge							
	tridicon® Architecture	Editier- und Zeichenwerkzeuge							

Anforderungen		CityEngine		CG® Modeler		SketchUp		tridicon® A.	
		Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
2.	Daten für die Modellierung notwendig		X	X			X	X	
	CityGRID® Modeler	3D-Gebäudemodell muss als XML-Datei oder in einer Datenbank abrufbar sein, da sich das Programm nicht öffnen lässt.							
	tridicon® Architecture	terrestrische Digitalfotos und Luftbilder							
3.	Veredelung von LoD2 in LoD3	X		X		X		X	
4.	Möglichkeit für LoD4	X			X	X		X	
5.	Beibehaltung der amtlichen Grundrisstreue	X		X		X		X	
6.	Visualisierung mit Vegetationsmodell	X		X		X		X	
7.	Animation des Verkehrs	X		X		X			X
8.	Erweiterung der Sachdatenerfassung	X		X		X		X	
9.	Mehrere Ansichten zur selben Zeit (2D und 3D)	X		X			X	X	
10.	Layerebenen verwalten	X		X		X		X	
11.	Objekte kopieren	X		X		X		X	
12.	Objekte spiegeln	X			X	X		X	
13.	Basis der Flächenbildung								
	CityEngine	Polygone (Shapes)							
	CityGRID® Modeler	Bildung von Flächen durch einen Triangulierungsalgorithmus							
	SketchUp	Polygone aus Dreieckvermaschungen							
	tridicon® Architecture	Polygone							
14.	Gleichzeitige Darstellung mehrerer Gebäude	X		X		X		X	
15.	Tastenkombinationen	X		X		X		X	
16.	Anzeige von Fehlermeldungen	X		X		X		X	

Alle Softwarepakete können LoD2-Gebäude in dem nächst höheren Detaillierungsgrad LoD3 veredeln, trotz der unterschiedlichen methodischen Erstellung. Eine darüber hinaus gehende Erweiterung der 3D-Gebäudemodelle um eine Innenraummodellierung in dem Detaillierungsgrad LoD4 ermöglichen die CityEngine, SketchUp und tridicon® Architecture. Die Verwaltung der Daten wird allgemein durch Layer von allen Herstellern unterstützt. Die Layerstruktur fördert die Übersichtlichkeit des Gebäudemodells und hat Vorteile bei dessen Bearbeitung. Eine Ergänzung von Sachdaten durch Attribute ist möglich. Für ein schnelleres Arbeiten sind Tastenkombinationen wichtig, welche ebenfalls unterstützt werden. Die Visualisierung in einem Vegetationsmodell ist bei allen Softwarefirmen möglich, es müssen aber teilweise zusätzliche Produkte der Firmen erworben werden.

In der **CityEngine** werden 3D-Gebäudemodelle programmiert oder mit Polygonwerkzeug modelliert. Der Code wird mit CGA (Computer Generated Architecture) Scripting geschrieben. Die Flächenbildung der 3D-Modelle wird durch Polygone bestimmt. Ein bestehendes 3D-Gebäude im LoD2 kann als Eingangsdatei verwendet werden. Dies ist aber nicht zwingend notwendig. Alle vorherigen Anforderungen im Themenbereich „Allgemeines“ werden von der CityEngine erfüllt.

Mit dem **CityGRID® Modeler** können 3D-Gebäude über Editier- und Zeichenwerkzeuge erstellt werden. Hierfür werden jedoch Eingangsdaten benötigt, die als XML-Dateien oder in einer Datenbank vorliegen müssen. Durch einen Triangulierungsalgorithmus werden die Gebäudeflächen automatisch ermittelt. Dafür muss das 3D-Gebäudemodell eine Linienstruktur aufweisen. Die Flächenbildung des Triangulierungsalgorithmus bevorzugt große Dreiecke, somit wird die Anzahl der Dreiecke minimiert. Für Gebäudeobjekte, die häufiger vorkommen, ist das Kopieren der Objekte sehr wichtig. Einige Gebäude oder Objekte sind symmetrisch. Diese müssen daher nur gespiegelt werden. Diese zeitsparende Methode wird von diesem Softwarepaket leider nicht unterstützt. Nach einer Triangulierung können Warnungen mit Lösungen angezeigt werden, wenn in der Gebäudestruktur Fehler vorhanden sind. Durch das Anklicken einer Warnung wird automatisch auf den Fehler gezoomt.

**SketchUp** kann ebenfalls mit Editier- und Zeichenwerkzeuge 3D-Gebäudemodelle erstellen und bearbeiten. Die beiden Softwarepakete CityGRID® Modeler und SketchUp lassen sich daher inhaltlich sehr gut miteinander vergleichen. SketchUp arbeitet ebenfalls mit Polygonen, die durch Dreiecke vermascht werden. Die 3D-Gebäudemodelle können in der Benutzeroberfläche nur durch eine 3D-Ansicht dargestellt werden und nicht gleichzeitig in einer 2D-Ansicht. Dadurch kann eine Bearbeitung und Ausrichtung in einigen Fällen schwieriger werden.

Das **tridicon® Architecture** benötigt terrestrische Digitalfotos und Luftbilder für die Modellierung. Die 3D-Gebäudemodelle werden durch das Digitalisieren der Bildmaterialien erstellt, dadurch können die Gebäudeobjekte und deren Dachformen mit oder ohne Grundrissdaten ermittelt werden. Ein Eingangsgebäude im LoD2, wie aus BRec, ist unnötig für das Erstellen von 3D-Gebäudemodellen. Die Firma 3DCon GmbH kann keine Animationen des Verkehrs darstellen.

Für das LDBV und dessen Anforderungen erscheinen im Themenbereich „Allgemeines“ die Softwarepakete CityEngine, CityGRID® Modeler und SketchUp, tridicon® Architecture alle geeignet zu sein. Im Hinblick auf ein Präsentationsmodell kann ein 3D-Gebäudemodell aber auch ohne Grundrissstreue auskommen. Für den tridicon® Architecture sind daher die Bildmaterialien ausreichend, um ein Gebäudemodell zu modellieren. Da auf einem 3D-Gebäudemodell im LoD3 in der Regel Fototexturen aufgebracht werden, wäre der Aufwand für die Beschaffung und Bearbeitung der Bildmaterialien nicht größer als bei den anderen drei Produkten.

Anforderungen		CityEngine		CG® Modeler		SketchUp		tridicon® A.	
		Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
<b>Import/Export</b>									
17.	Import von CityGML		X		X		X	X	
	CityEngine	Konvertierung mittels FME oder Data Interoperability Extension aus ArcGIS							
	CityGRID® Modeler	Eine Konvertierung muss erfolgen, da die Software mit einem linienbasierten Ansatz arbeitet. Die Durchführung der Konvertierung kann mittels FME erfolgen.							
	SketchUp	importierbar jedoch nur mit Plug-in							
18.	Export in CityGML	X		X		X		X	
19.	Weitere Export Möglichkeiten								
	CityEngine	Script Based Export, KML, CityEngine WebScene, DAE, OBJ, FBX, E-On Software Vue, Pixar RenderMan, Esri FileGDB							
	CityGRID® Modeler	DXF, KMZ, CityGML, VRML, Citygrid, Max, OBJ, 3DS, FBX, SHP, ESRI File/Personal GDB, 3D PDF							
	SketchUp	3DS, DWG, DXF, COLLADA (DAE), FBX, IFC, KMZ, OBJ, WRL, XSI							
	tridicon® Architecture	3DS, ArcGrid, CityGML, DAE, ESRI PDGB, ESRI TIN, FBX, GML, ITF, KML/KMZ, LAS/LAZ, myVR, OSM, OBJ, Shape, STL, tridicon Points, tridicon, VRML, XYZ uvm.							
20.	Import eines DGMS	X		X		X		X	
21.	Import von Laserscanning-Daten	X		X		X		X	
22.	Import von weiteren Dateiformaten								
	CityEngine	DAE, DXF, File GDB, KML, KMZ, OBJ, OSM, Shapefile, alle gängigen Bildformate							
	CityGRID® Modeler	DXF, KMZ, CityGML, VRML, Citygrid, Max, OBJ, 3DS, FBX, SHP, ESRI File/Personal GDB, 3D PDF							
	SketchUp	SKP, DWG, DXF, 3DS, DAE, DEM, DDF, KMZ, JPG, PNG, PSD, TIF, TGA, BMP							
	tridicon® Architecture	3DS, ArcGrid, CityGML, DAE, ESRI PDGB, ESRI TIN, FBX, GML, ITF, KML/KMZ, LAS/LAZ, myVR, OSM, OBJ, Shape, STL, tridicon Points, tridicon, VRML, XYZ uvm.							
23.	Gebäude aus einer Datenbank abrufbar	X		X		X			X
24.	Datenbank zwingend notwendig		X		X		X		X
25.	Herstellungsunabhängige Datenbank nutzbar	-	-	X		-	-		X
	CityGRID® Modeler	Oracle und MSSQL (Microsoft)							

Anforderungen		CityEngine		CG® Modeler		SketchUp		tridicon® A.	
		Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
26.	Import über ein Filesystem	X		X		X		X	
27.	Georeferenziert beim Import	X		X		X		X	
28.	Gleiche Koordinatenposition beim Export	X		X		X		X	

Eine CityGML-Datei lässt sich ohne eine Konvertierung beziehungsweise eines Plug-ins nur in das Softwarepaket tridicon® Architecture importieren. Jedoch ist es teilweise möglich, das bearbeitete 3D-Gebäudemodell direkt als CityGML-Datei zu exportieren.

Die Konvertierung der CityGML kann für den Import in die **CityEngine** mittels FME oder mit der Data Interoperability Extension aus ArcGIS erfolgen. Statt eine CityGML-Datei als Import zu verwenden, ist es möglich, direkt eine Shape-Datei zu importieren. Die Anforderungspunkte wären somit erfüllt. Das Exportformat Esri CityEngine Web Scene (\*.3ws) kann im CityEngine Web Viewer die 3D-Gebäudemodelle anzeigen.

Der **CityGRID® Modeler** benötigt, wie schon erwähnt, in den allgemeinen Anforderungen eine Eingangsdatei. Eine CityGML-Datei kann mittels der FME in eine XML-Datei konvertiert werden. Außerdem können 3D-Gebäudemodelle aus einer unabhängigen Herstellerdatenbank, wie von Oracle und Microsoft SQL Server, geladen werden. Beim Export der CityGML-Datei kann es zu einem minimalen Versatz der Koordinatenposition des 3D-Gebäudemodells kommen, dieser Versatz muss aber nicht auftreten. Das Problem liegt an 3ds Max, welches die Kommazahlen aufrundet. Mit einer Subskription ist es in 3ds Max 2014 schon möglich, Laserscanning-Daten zu laden. Ab der Version 3ds Max 2015 ist es für alle Benutzer möglich, Laserpunkte darzustellen. Das DGM kann mit dem 3D-Gebäudemodell verschnitten werden und wird beim Export in die CityGML-Datei geschrieben.

Ein Plug-in für den Import und Export von CityGML-Dateien in **SketchUp** hat zum Beispiel die Westfälische Hochschule entwickelt. Es kann von der Internetseite <http://www.citygml.de/> kostenlos heruntergeladen werden. Über das Dateiformat COLLADA (COLLABorative Design Activity, Dateierweiterung: DAE) können Laserscanpunkte importiert werden. Aus der Trimble 3D-Galerie können schon fertige 3D-Gebäudemodelle oder 3D-Objekte für nicht kommerzielle Zwecke von anderen Anwendern geladen und benutzt werden.

In **tridicon® Architecture** lassen sich Laserscanning-Daten importieren. Jedoch sollten vor dem Import die Laserscanpunkte auf die wichtigsten Punkte reduziert werden, um das Bildmaterial nicht zu verdecken. Die Visualisierungssoftware tridicon® CityDiscoverer kann durch die reichhaltige Anzahl von Import- und Export-Möglichkeiten zur Konvertierung verwendet werden. Eine Verbindung zu einer Datenbank besteht nicht, der Import ist nur über ein Filesystem möglich. Die Verschneidung der 3D-Gebäude ist mit einem Höhenmodell möglich.

Alle Softwarepakete, bis auf tridicon® Architecture, benötigen einen Konverter oder ein Plug-in für die Verwendung einer CityGML-Datei. Der einzige Unterschied zu allen Produkten ist der Kostenfaktor. Die FME gibt es kostenpflichtig in den Versionen: FME Desktop, FME Server und FME Cloud. Das Plug-in für SketchUp ist dagegen kostenlos zu erhalten.

Anforderungen		CityEngine		CG® Modeler		SketchUp		tridicon® A.	
		Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
<b>Modellierung</b>									
29.	Ergänzung von neuen Gebäuden zu bereits bestehenden Gebäuden	X		X		X		X	
30.	Dachaufbauten von diversen Gaubenformen modellierbar	X		X		X		X	
31.	Dachüberhang ohne Grundriss zu verändern	X		X		X		X	
32.	Spezielles Werkzeug für den Dachüberhang	X		X			X		X
	CityEngine	Code mit CGA Scripting							
	CityGRID® Modeler	Dachüberhang-Tool							
33.	Hausdurchgang, Arkadengang, Tunnel	X		X		X		X	
	CityEngine	Code mit CGA Scripting							
	CityGRID® Modeler	neue Komplexe ablösen							
	SketchUp	Linien zeichnen und nicht benötigte Flächen löschen							
	tridicon® Architecture	Linien zeichnen							
34.	Gebäudeanbauten ohne neue GebäudeID	X		X		X		X	
35.	Fenster/Türen in Form eines Rechteckes einrückbar	X		X		X		X	
36.	Bogenfenster/-türen einrückbar	X		X		X		X	
37.	Säulen	X		X		X		X	
38.	Zwibeltürme	X		X		X		X	

Zu den bereits bestehenden 3D-Gebäudemodellen können in jedem Softwarepaket neue Gebäude erstellt werden. Die Dachformen für die 3D-Gebäude sind individuell editierbar. Ebenso können auf die Dächer die diversen Gaubenformen, wie zum Beispiel Walm-, Schlepp- oder Fledermausgaube, modelliert werden. Eine hohe Anzahl von Gebäuden besitzen Dachüberhänge. Dabei muss beachtet werden, dass der Grundriss des zu modellierenden Gebäudes nicht verkleinert wird. Neue Gebäudeanbauten sollten die gleiche Gebäudeidentifikationsnummer aufweisen, was von allen Softwarepaketen unterstützt wird.

Der Programmiercode CGA für die **CityEngine** beinhaltet spezielle Werkzeuge für einen Dachüberhang sowie für Hausdurchgänge, Fenster und viele weitere Elemente. Ein Problem ist das Rundungen nicht unterstützt werden. Es wäre daher ein enormer Programmieraufwand nötig, einen Zwibelturm oder eine Säule zu erstellen. Die 3D-Gebäudeerstellung ist für Standarddächer

ohne Rundungen für ein flächendeckendes Stadtgebiet geeignet. Einige Landmarks müssen dadurch in einem externen Softwarepaket manuell erstellt und anschließend importiert werden.

Ein spezielles Werkzeug für den Dachüberhang, das als *Dachüberhang-Tool* bezeichnet wird, bietet der **CityGRID® Modeler**. Tunnel und Durchgänge können durch das Ablösen von neuen Komplexen geschaffen werden. Über die Detailelementkomplexe können Fenster, Türen und jegliche Verschönerungen modelliert werden. Bei der Modellierung von Rundungen, wie zum Beispiel bei Zwiebeltürmen und Säulen, muss darauf geachtet werden, dass genügend Knotenpunkte gesetzt werden, da anstelle der Triangulierung sonst Rechtecke entstehen.

Nach dem Import der CityGML-Datei in **SketchUp** muss das 3D-Gebäudemodell erst einmal von unnötig erstellten Linien bereinigt werden. Bei der Bereinigung kann es passieren, dass das Gebäude seine Grundrisstreue verliert. Es gibt keine speziellen Werkzeuge für die Gebäudemodellierung, aber durch die Kombination der wenigen Werkzeuge ist jede Modellierung möglich. In SketchUp können Modellelemente, die mehrfach in einem Gebäudemodell vorkommen, als Komponenten erstellt werden. Die Komponenten sind beispielsweise für Fenster, Türen oder Säulen geeignet.

Für das **tridicon® Architecture** gibt es kein spezielles Werkzeug für das Extrudieren von Gebäudestrukturen. Fenster und Türen können jedoch durch manuelles Editieren modelliert und dadurch eingerückt werden. Die Bearbeitung erfolgt über das Modellieren von separaten Polygonen. Deswegen ist es möglich, verschiedene Hohlräume zu modellieren. Für komplexe Dachformen, wie dem Sheddach, gibt es Helfer für das Erzeugen der einzelnen Sheds. Alles was von einem Bild abgemessen werden kann, kann modelliert werden. Versperren Gegenstände, wie zum Beispiel ein Auto oder ein Baum, die Sicht auf ein Gebäude, kann durch eine verlängerte oder freihändig gezeichnete Linie trotzdem modelliert werden.

Der große Unterschied der Softwarepakete besteht in der Ausführung der Modellierung. Trotzdem ist es möglich, die Anforderungen in irgendeiner Art und Weise zu erfüllen. Die CityEngine hat den großen Nachteil, dass Rundungen nicht unterstützt werden und ein weiteres Softwarepaket für das Modellieren benötigt wird. Der CityGRID® Modeler bedient sich bei der Erstellung von Rundungen aus der Werkzeugpalette des 3ds Max. Ein Zwiebelturm kann aus mehreren runden Ringen bestehen. Mit dem Triangulieren entstehen die Flächen. Für das Platzieren der Ringe wird ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen benötigt. Durch das Verbinden mehrerer Werkzeuge in SketchUp ist eine Modellierung mit Rundungen einfach.

Anforderungen		CityEngine		CG® Modeler		SketchUp		tridicon® L.	
		Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
<b>Texturieren</b>									
39.	Automatische Ableitung der Dachtexturen aus (True-)Orthofotos		X	X			X		X
40.	Automatische Ableitung von Fassadentexturen aus orientierten Bilddateien		X	X			X	X	
41.	Einbringung von nicht-orientierten Fotos für Fassaden	X		X		X		X	
42.	Vorherige Entzerrung der nichtorientierten Fotos notwendig	X			X		X	X	
43.	automatische Fototransformation	X		X		X			X
44.	Künstliche Materialoberflächen erstellbar	X			X	X		X	
45.	Vertikale Bildelemente durch eine 2D-Fläche darstellbar	X		X		X		X	

Das Texturieren von 3D-Gebäudemodellen ist sehr zeitaufwendig und kann je nach Größe mehrere Tage dauern. Eine automatische Ableitung von Texturen ist kostengünstiger als ein manuelles Aufbringen. Sehr gute terrestrische Fotoaufnahmen müssen gegeben sein, um eine Nachbearbeitung soweit wie möglich zu minimieren.

Die **CityEngine** bietet keine automatische Ableitung von (True-)Orthofotos für Dachtexturen und orientierte Bilddateien für Fassadentexturen an. Eine vorherige Entzerrung der Bildmaterialien ist daher notwendig. Sind für einige Flächen keine Fotos vorhanden, können künstliche Materialoberflächen geschaffen werden.

Eine automatische Ableitung von georeferenzierten Bildmaterialien ist im **CityGRID® Modeler** möglich. Verzerrungen von terrestrischen Fotos lassen sich durch vier Ankerpunkte bewerkstelligen. Das Aufbringen einer künstlichen Textur wird nicht unterstützt. Wird die Größe einer Fläche nach dem Texturieren verändert, verschwindet diese. Eine neue Textur muss aufgebracht werden.

Verschiedene Dienste wie Google Earth oder Google Street View stellen für **SketchUp** Fototexturen zur Verfügung. Terrestrische Fotos können über vier Punkte (Bezeichnung in SketchUp: Reißzwecken) transformiert werden. Es gibt zwei Arten von Reißzwecken. Die fixierten und die nicht fixierten Reißzwecken. Bei den fixierten Reißzwecken hat jede eine andere Funktion wie Verschieben, Drehen/Skalieren, Verformen und Skalieren/Abtrennen. Die nicht fixierten Reißzwecken eignen sich vor allem für Fototexturen, da diese nicht an die anderen Reißzwecken gebunden sind und eine Verzerrung einfacher ist. Mit dem Werkzeug der *Pipette* werden Texturen von einer Fläche auf eine andere Fläche übertragen.

Für das Erstellen von 3D-Gebäuden werden in **tridicon® Architecture** schon entzerrte Bildmaterialien benötigt. Die Fotos liegen dadurch perfekt auf einer Gebäudefläche. Eine automatische Texturableitung für Dachformen ist nicht möglich. Fassadentexturen können aus orientierten Bilddateien automatisch abgeleitet werden.

Eine Bildbearbeitungssoftware wie Adobe Photoshop oder die Open Source Software GIMP muss vorhanden sein. Es kommt sehr oft vor, dass eine Fassadenfläche nicht mit einem Mal aufgenommen werden kann. Die einzelnen Bilder müssen in einer Bildbearbeitungssoftware zusammengesetzt werden. Aus rechtlichen Gründen dürfen zum Beispiel Personen oder Autokennzeichen nicht sichtbar sein. Diese müssen unkenntlich gemacht werden. Präsentationsmodelle sollten, wenn möglich, von den meisten störenden Elementen bereinigt werden. Die Zeit, die im CityGRID® Modeler durch das automatische Ableiten gespart wird, wird leider für das erneute Aufbringen nach einer Flächenveränderung benötigt. Durch eine hohe Auflösung und eine enorme Anzahl von Bildmaterialien kann eine Menge Speicherplatz für die Texturen der Präsentationsmodelle benötigt werden. In SketchUp werden weniger Fotos als extra Datei erstellt, die mehrmals in einem 3D-Modell vorkommen. Dafür müssen die Texturen jedoch entsprechend mit *fixierten Reißzwecken* und nicht mit den *nicht fixierten Reißzwecken* verwendet werden.

Anforderungen		CityEngine		CG® Modeler		SketchUp		tridicon® A.	
		Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
<b>Systemvoraussetzungen</b>									
46.	stereoskopischer 3D-Arbeitsplatz notwendig		X		X		X		X
47.	Anforderungen an die Hardware/Software für Bearbeitung/Texturieren								
	Arbeitsspeicher:								
	Mindestens	2 GB		2 GB		4 GB		2 GB	
	Empfohlen	-		8 GB		8 GB		8 GB	
	Grafikkarten Speicher:								
	Mindestens	64 MB		512 MB		512 MB		556 MB	
	Empfohlen	256 MB oder mehr		2 GB		1 GB		2 GB	
	Betriebssystem:	Win XP, Win Vista, Win 7, Win 8, Win 8.1		Win XP, Win 7, Win 8, Win 8.1		Win 7, Win Vista, Win 8		Win 7 (x64)	
48.	Basisprogramme		X	X			X		X
	CityGRID® Modeler	3ds Max 2012 oder höher und FME 2012 oder höher							
49.	Extensions für die Software	-	-	X		X			X
	CityGRID® Modeler	ArcGIS Extension und FME Extension							
	SketchUp	Plug-in für den Import und Export einer CityGML-Datei wird benötigt							
50.	Weitere Hardware/Software Anforderungen								
	CityGRID® Modeler	Zum Vorteil für die Visualisierung ist ein Rechner der für 3D-Spiele konfigurierbar ist.							
	tridicon® Architecture	Bildbearbeitungsprogramm für die Texturen optional: Quad-Buffered-Stereo-Karte für den Stereomodellierung							

Keines der vier Softwarepakete benötigt einen stereoskopischen 3D-Arbeitsplatz. Aus den eigenen Erfahrungen ist es geeignet, einen Rechner zu besitzen, der den empfohlenen Anforderungen der Softwarefirmen entspricht. Vor allem beim Texturieren von größeren 3D-Gebäudemodellen kann ein Rechner sehr schnell zu langsam werden. Daher sollte an diesem Punkt eher nicht gespart werden. Die CityEngine, SketchUp und tridicon® Architecture benötigen keine Basisprogramme. Der CityGRID® Modeler hingegen benötigt die 3D-Modellierungssoftware 3ds Max als Basisprogramm. Mit dem 3ds Max können, ebenfalls wie beim SketchUp, schnell viele verschiedene 3D-Objekte modelliert werden, die deutlich über die Modellierung von Gebäuden hinausgeht. Die Konvertierungssoftware FME ist, wie schon erwähnt, teilweise für den Import einer CityGML-Datei notwendig.

Software Lizenz		
51.	Arten der Software Lizenzen und deren Kosten	
	CityEngine	Preise für US-Kunden (Rabatt beim Kauf von mehr Lizenzen): ArcGIS: Desktop Basic (1500,00 USD) / Standard (3000,00 USD) / Advanced (100,00 USD pro Jahr für den nicht kommerziellen Gebrauch) CityEngine: Basic (500,00 USD) / Advanced (4000,00 USD)
	CityGRID® Modeler	CityGRID® Modeler (interaktiver Editor): 5.000 € CityGRID® Builder und CityGRID® Scout: 7.000 € CityGRID® Manager: Je nach Ausbaustufe 3000 - 30.000 €
	SketchUp	SketchUp Make ist für nicht kommerzielle Zwecke kostenlos SketchUp Pro 2014 Einzelplatz 536,69 € SketchUp Pro 2014 Netzwerk 1184,08 € (min. 10 Plätze) Mehrfachrabatt bei SketchUp Pro
	tridicon® Architecture	Preise sind abhängig nach der Anzahl der Lizenzen und des- sen Softwarepaketinhalten
52.	Testversion	
	CityEngine	30-Tage kostenlose Testversion
	CityGRID® Modeler	30-Tage kostenlose Testversion des 3ds Max
	SketchUp	SketchUp Pro für 8 Stunden kostenlos zum testen
	tridicon® Architecture	60-Tage kostenlose Testversion
53.	Sprachunterstützung	
	CityEngine	Englisch
	CityGRID® Modeler	Deutsch, Englisch
	SketchUp	Deutsch, Englisch, Französisch und weitere
	tridicon® Architecture	Deutsch, Englisch, Russisch

Die Kosten der einzelnen Softwarepakete sind sehr unterschiedlich. Es muss deswegen genau berechnet werden, wie viele Lizenzen benötigt werden. Bei dem Kauf von mehreren Lizenzen bestehen Rabatte. Der Preis für den CityGRID® Modeler kann durch Anpassungsarbeiten für ein Unternehmen abweichen. Mit einer Testversion von 30 Tagen beziehungsweise 60 Tagen ist es möglich zu überprüfen, ob die gewünschten Anforderungen auch umgesetzt werden können. Eine 8-stündige Testversion, wie von SketchUp Pro, ist viel zu kurz. Zum Testen von SketchUp wäre auch die Version SketchUp Make möglich, jedoch ist diese durch ihre Funktionen eingeschränkter. Bis auf die CityEngine sind alle 3D-Modellierungsprogramme auf Deutsch. Für die CityEngine müssen daher englische Fachbegriffe gekannt werden. Mit einem USB-Dongle sind die Programme CityGRID® Modeler und tridicon® Architecture geschützt.

Anforderungen		CityEngine		CG® Modeler		SketchUp		tridicon® A.	
		Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
<b>Schulungen</b>									
54.	Dauer des ungefähren selbständigen Erlernens für einfache Gebäudemodellierungen								
	CityEngine	abhängig von Kenntnissen der Programmierung							
	CityGRID® Modeler	1-2 Tage							
	SketchUp	ein paar Stunden							
	tridicon® Architecture	2 Stunden unter Zuhilfenahme des Quick Guides							
55.	mindest Tagesanzahl der Schulungen und deren maximale Teilnehmeranzahl								
	CityEngine	Kurs „Esri CityEngine Einführung“ dauert 2 Tage							
	CityGRID® Modeler	2-tägige Basisschulung, 1-tägige Erweiterungsschulung nach einer Einarbeitungszeit, ab 3-4 Teilnehmern ist ein Vortragender und Tutor vor Ort							
	SketchUp	wird von verschiedenen Firmen angeboten							
	tridicon® Architecture	Schulungen ab 1 Tag mit unbegrenzter Teilnehmeranzahl und länger je nach Bedürfnissen Alternative eine Online-Demonstration von 2-3 Stunden							
56.	Handbücher		X	X		X		X	
57.	Verknüpfung zu Online-Hilfsmitteln	X			X	X			X
58.	Tutorial	X			X	X		X	

Einfache Gebäudemodellierungen können innerhalb von ein paar Stunden bis zu einigen Tagen erlernt werden. Für eine Einführung in die Software sollte jedoch eine Schulung durchgeführt werden. Diese sind hilfreich für Tipps und Tricks in der Bearbeitung der 3D-Gebäude. Die meisten Schulungen werden direkt auf die Bedürfnisse eines Unternehmens abgestimmt. Das Erlernen der CityEngine ist abhängig von den Kenntnissen der Programmierung wie Python oder C++. Falls keine Internetverbindung besteht, sind Handbücher in gedruckter oder PDF-Form vorteilhaft. Für die CityEngine sind Handbücher zurzeit in Erstellung. SketchUp hat eine große Anwendergruppe. Daher findet man im Internet viele Hilfsmittel zum Lernen. Unterstützung durch andere Anwender und Tutorials von spezieller Software für die 3D-Gebäudemodellierung, wie der CityGRID® Modeler oder tridicon® Architecture, sind im Internet nicht zu finden.

Beispiele für die Modellierung		
59.	Durchfahrt des Rathauses in Neu-Ulm (GEBID 593633)	
	CityEngine	Verschiedene Möglichkeiten der Modellierung mit Programmieren oder dem Zeichnen von Linien und Rechtecken. Komponentensplit auf die Gebäudegrundflächen {Ground, Floor, Wall} Werkzeuge: z. B. <i>Polygonal Shape Creation, Rectangular Shape Creation</i>
	CityGRID® Modeler	Für den Hohlraum wird ein Abzugskörper (Bool'sches Objekt) angelegt. Beim Triangulieren werden die Wandseiten und Decke angelegt. Werkzeuge: <i>Zeichenmodus, Komplexe ablösen</i>
	SketchUp	Die Flächen müssen erst von überschüssigen Linien bereinigt werden. Anschließend kann die Durchfahrt aus Linien gezeichnet und die überflüssigen Flächen gelöscht werden. Werkzeug: <i>Linie</i>
	tridicon® Architecture	Die Gebäudeecken werden auf den Fotos gemessen und zu Flächen verbunden. Durch das Setzen von zusätzlichen Punkten werden neue Wandflächen für die Durchfahrt erstellt. (Da keine Fotos vorhanden sind, wurde freihand gezeichnet.)

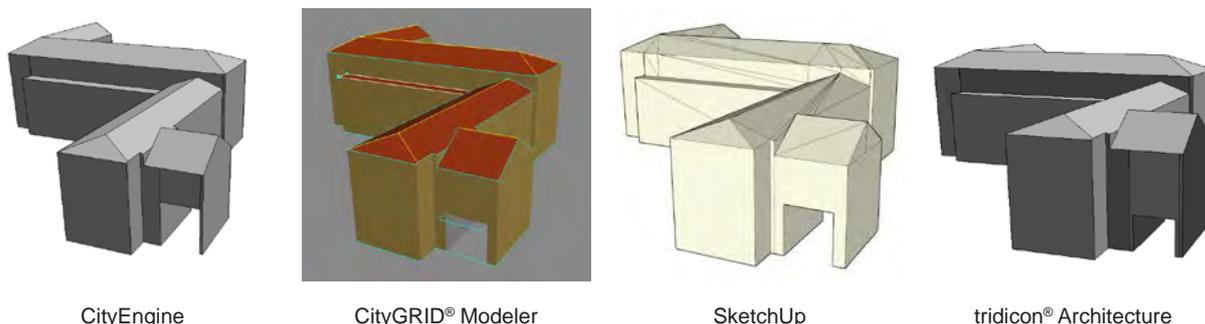
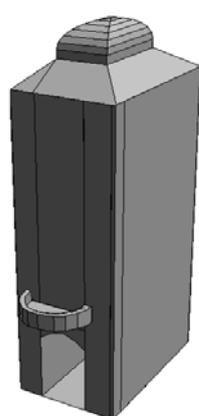


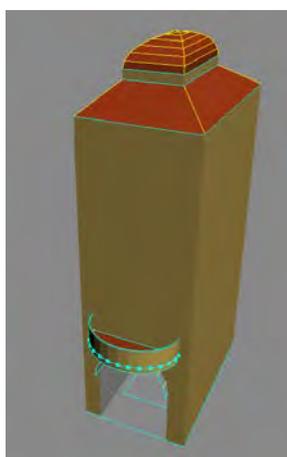
Abb. 73: Ergebnisse der Modellierung für das Erstellen einer Durchfahrt

Im Allgemeinen sind Durchfahrten wie in Aufgabe 59 sehr schnell zu erstellen. In SketchUp müssen leider vor dem Zeichnen erst die überschüssigen Linien von den Flächen entfernt werden. Eine Durchfahrt muss in der CityEngine nicht programmiert werden, sondern kann auch durch das Zeichnen von Linien modelliert werden.

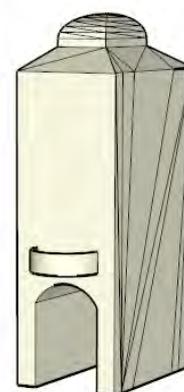
60.	Balkon und Rundbogendurchgang des alten Rathauses in Bamberg (GEBID 2693957)	
	CityEngine	Verschiedene Möglichkeiten der Modellierung mit Programmieren oder dem Zeichnen von Linien. Komponentenaufteilung <i>Comp{Roof, Dachgaube}</i> . Werkzeuge: z. B. <i>Polygonal Shape Creation</i>
	CityGRID® Modeler	Der Rundbogendurchgang wird wie in Aufgabe 59 mit einem Bool'schem Objekt erzeugt. Für den Balkon wird ein eigenständiger Elementkomplex erstellt. Eine Rundung kann freihand oder mit einem <i>Vieleck</i> (Werkzeug des 3ds Max) modelliert werden. Die Balkonbrüstung ist ein Detail des Balkons. Werkzeuge: <i>Zeichenmodus, Koordinatensystem-Tool, Komplexe ablösen</i>
	SketchUp	Erst die Fläche bereinigen. Für den Rundbogendurchgang werden Linien und ein Bogen gezeichnet. Der Balkon wird ebenfalls mit den beiden Elementen modelliert. Die Balkonbrüstung wird nach oben extrudiert. Werkzeuge: <i>Linie, Bogen, Drücken/Ziehen</i>
	tridicon® Architecture	Wie in der vorherigen Aufgabe wird die Rundbogendurchfahrt modelliert. Der Balkon wird als eigenständiger Körper an die Wand des Gebäudes angebracht.



CityEngine



CityGRID® Modeler

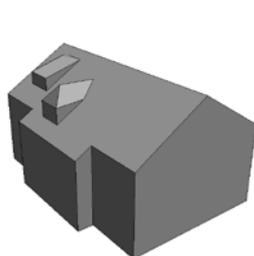


SketchUp

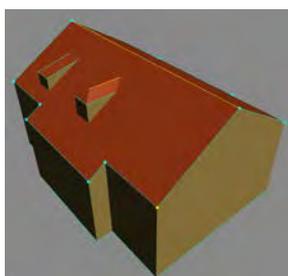
Abb. 74: Ergebnisse der Modellierung für Rundbogendurchgang und Balkon

Für die Modellierungen aus Aufgabe 60 lässt sich das 3D-Gebäudemodell nicht einfach mit der CityEngine modellieren, da die Software keine Rundungen unterstützt. Um die Rundungen zu erhalten, müssen viele Flächen gebildet werden. In den anderen Programmen ist es wesentlich einfacher.

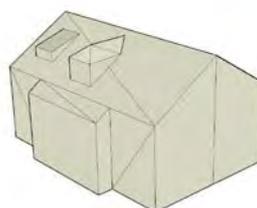
61.	Gauben (Schleppgaube, Walmgaube) für ein Gebäude in Andechs (GEBID 3652806)	
	CityEngine	Komponentensplit auf die Gebäudeflächen <i>{Ground, Wall, Roof}</i> . Das Dach erhält zwei Komponenten für die Dachgauben ( <i>Comp{Roof, Dachgaube}</i> ). Dachgaube modellieren mit <i>Split (y) {Splittingintervall width/2 für Firstlinie des Dachgaube}</i> und <i>Split (x) {Definition der Firstrichtung}</i> .
	CityGRID® Modeler	Die Gauben werden als Detailelementkomplexe, mit einem Traufenpolygon modelliert. Das Traufenpolygon für die Schleppgaube, wird auf die passende Stelle verschoben. Die Walmgaube bekommt zusätzlich zu dem Traufenpolygon einen First. Durch die Triangulation werden die Flächen Dach und Fassade automatisch erstellt. Werkzeuge: <i>Zeichenmodus, Komplexe ablösen, Linienschnittpunkt-Tool</i>
	SketchUp	Aus Linien werden die Flächen für die Gauben konstruiert. Werkzeuge: <i>Linie, Drücken/Ziehen</i>
	tridicon® Architecture	Die beiden Gauben werden photogrammetrisch gemessen und freihand modelliert. Anschließend werden die Gauben an das Dach angebracht.



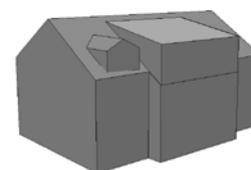
CityEngine



CityGRID® Modeler



SketchUp



tridicon® Architecture

Abb. 75: Ergebnisse der Modellierung für Schleppgaube und Walmgaube

Die beiden Varianten der Gauben können von allen Softwarepaketen konstruiert werden. Für eine exakte Höhe der Gauben wären Laserscanpunkte hilfreich.

62.	Zwiebelturm der Wallfahrtskirche in Wilparting (GEBID 5871601)	
	CityEngine	Der Programmieraufwand für einen Zwiebelturm ist mit der CityEngine sehr hoch. Durch das Zeichnen von vielen kleinen Polygonen ist es möglich, einen Zwiebelturm zu modellieren. Werkzeuge: <i>Polygonal Shape Creation, Scale Tool, Move Tool</i>
	CityGRID® Modeler	Es wird eine Fassadenlinie gezeichnet. Das Linienobjekt (Kreis) wird mehrfach kopiert und übereinander gestapelt. Jeder Kreis kann nun auf die Form des Zwiebelturmes skaliert werden. Die Flächen werden durch das Triangulieren erstellt. Werkzeuge: <i>Zeichenmodus, Skalieren</i>
	SketchUp	Ein Rechteck, das vertikal steht, wird aufgezogen, die Form des Zwiebelturmes wird als Hälfte und im Querschnitt auf das Rechteck gezeichnet. An der unteren Kante wird ein Kreis horizontal aufgezogen, dieser wird später wieder gelöscht. Der Querschnitt wird nun mit dem Werkzeug <i>Folge mir</i> zu einem Volumenkörper gezogen. Werkzeuge: <i>Rechteck, Freihand, Kreis, Folge mir</i>
	tridicon® Architecture	Eine Standarddachform wie einen Zwiebelturm gibt es nicht. Jedoch kann ein Kuppeldach in eine Freie-Dachform umgewandelt werden und so zu einem Zwiebelturm freihand ummodelliert werden. Die Spitze besteht aus einem Kugelkörper.

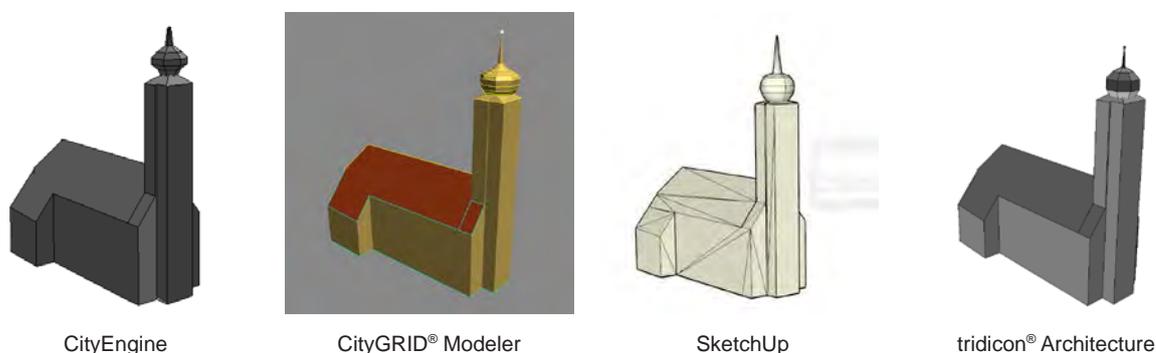


Abb. 76: Ergebnisse der Modellierung eines Zwiebelturm

Eine Modellierung eines Zwiebelturmes ist in der CityEngine durch den enormen Programmieraufwand nicht zu empfehlen und sollte daher manuell in einem anderen Softwarepaket erfolgen. Durch das Verbinden der Werkzeuge vom CityGRID® Modeler und 3ds Max ist ein Zwiebelturm relativ schnell modelliert. Um in SketchUp das Bereinigen der Flächen zu vermeiden, sollte der Zwiebelturm als separates Objekt modelliert und anschließend auf den Turm gesetzt werden. In tridicon® Architecture wäre die Größe und Form des Zwiebelturmes durch das verwendete Bildmaterial sehr exakt.

## 7.4 Methoden zur Modellierung und deren Werkzeuge

In diesem Abschnitt werden einige bestimmte Werkzeuge der Softwarepakete erläutert, die für die Modellierung von 3D-Gebäuden benötigt werden.

### CityEngine

Neben dem Programmiercode können die 3D-Gebäude auch manuell bearbeitet werden. Dazu zählt das *Polygonal Shape Creation* mit dem eine Linie aus mindestens einem Anfangs- und Endstützpunkt gezeichnet werden kann. Die Stützpunkte können an verschiedene Punkte einer Linie gefangen werden, wie an dem Mittelpunkt einer Linie. Soll von einem Stützpunkt einer bereits bestehenden Linie eine neue Linie im Rechtenwinkel gezeichnet werden, wird dieses mit einem 90° Winkel angezeigt. Mit dem *Rectangular Shape Creation* werden Rechtecke gezeichnet und können an bestehende Kanten gefangen werden. 3D-Gebäude, die aus einem anderen Modellierungsprogramm überführt werden, können überschüssige Stützpunkte aufweisen. Mit dem *Cleanup Shapes* werden diese gelöscht.

### CityGRID® Modeler

Eine Linie wird mit dem *Zeichenmodus* und der *Segmentauswahl* gezeichnet. Mit dem Werkzeug *Snaps Toggle* von 3ds Max können die Linien direkt an einen vorhandenen Stützpunkt gefangen werden. Ein Dachvorsprung ist mit dem *Dachüberhang Tool* in kürzester Zeit erstellt. Sind die Flächen selektiert, an dem ein Dachüberhang entstehen soll, wird ein Wert eingetragen, der über die Fassadenkante herausragt. Eine Angabe des *Offset* lässt die Kante des Segmentes nach oben oder unten verschieben.

### SketchUp

Das Hauptwerkzeug in SketchUp ist die *Linie*. Sollte eine Linie parallel zur X-, Y- oder Z-Achse ausgerichtet werden, wird der Stift solange bewegt, bis die entsprechende Farbe der Achse angezeigt wird. Für eine Linie, die eine gewünschte Länge und Größe haben soll, wird ein Stützpunkt gesetzt, der Stift muss in die Richtung der zu erstellenden Linie zeigen und der Längenwert kann in der Maßangabe eingegeben werden. Durch das Schließen einer Fläche bekommt diese automatisch eine Vorder- und Rückseite. Rundungen werden mit dem Bogen gezeichnet. Dafür werden zwei Stützpunkte gesetzt, die die Breite der Rundung bestimmen. Mit der Bewegung des Stiftes wird die Form der Rundung angegeben.

### tridicon® Architecture

Mit der linken Maustaste wird ein Stützpunkt auf eines der Bildfenster gesetzt, das die X- und Y-Koordinate festlegt. Dieser Stützpunkt wird in allen weiteren Bildfenstern automatisch projiziert. In einem der anderen Bildfenster wird mit der rechten Maustaste der entsprechende Punkt korrigiert. Eine pink gestrichelte Linie zeigt in den Bildern an, wo sich bei einer Veränderung der Stützpunkt befindet. Der zweite Stützpunkt wird gesetzt und ebenfalls in den anderen Bildern korrigiert. Objekte können mit einem der verschiedenen Fangfunktionen, wie dem *2D-/3D-Fangmodus* oder der *Punkt fangen* Methode, zusammengesetzt werden. Für die Erstellung von Dachformen gibt es eine festgelegte Konstruktionsvorschrift. Beim Konstruieren des Daches müssen die Stützpunkte nach einer bestimmten Reihenfolge gesetzt werden.

## 8 Fazit

Die Entscheidung für die Wahl einer Software, die zur 3D-Gebäudeerstellung im Detaillierungsgrad LoD3 verwendet werden kann, ist wie gezeigt von vielen Faktoren abhängig. Die Auswertung des Fragebogens und dessen Kriterien zeigen, dass alle vier Programme zur Bearbeitung von LoD3-Gebäuden geeignet sind. Jedes dieser Programme besitzt seine eigenen Vor- und Nachteile. Nach der Erstellung des bayerischen Landtages im CityGRID® Modeler und in SketchUp würde ich mich persönlich für den CityGRID® Modeler entscheiden. Zu Beginn erscheint das Modellieren komplizierter als in SketchUp, jedoch sind die einzelnen Modellierungsschritte immer sehr ähnlich für die Erstellung der Objekte. Die gleichzeitige 2D- und 3D-Ansicht ist für viele Modellierungen geeigneter. Vor allem die Verschmelzung der 3D-Gebäude mit dem digitalen Geländemodell ist im CityGRID® Modeler zu betonen, da ein 3D-Gebäudemodell nicht im Boden versinken oder darüber schweben sollte. Über den Fragebogen wird festgestellt, dass in der CityEngine die 3D-Gebäude über einen Programmiercode beziehungsweise eine manuelle Bearbeitung erstellt werden können. Die CityEngine unterstützt keine Rundungen, was die Modellierung erschwert und ist daher für viele Landmarks ungeeignet. Für Präsentationsmodelle ist tridicon® Architecture geeignet, da die 3D-Gebäudemodellierung über die verschiedenen Blickwinkel der Bilder erfolgt. Aus der Kostenanalyse für die Anschaffung der benötigten Lizenzen geht hervor, dass SketchUp die preislich günstigste Variante ist und wegen der geringen Kosten bevorzugt werden sollte.

Durch Laserscanpunkte ist es möglich, die Dachaufbauten und deren Höhe besser zu modellieren, daher sollten diese unbedingt für die LoD3-Gebäudemodellierung eingesetzt werden.

Es ist wichtig, dass die Mitarbeiter die nötigen Qualifikationen für die 3D-Gebäudemodellierung im LoD3 haben, dafür sind vor allem ein räumliches Denken und eine räumliche Wahrnehmung erforderlich. Mitarbeitern, die am LDBV momentan Gebäude im LoD2 in BRec bearbeiten, kann der Umstieg auf eine räumliche Modellierung eventuell schwer fallen.

Nicht zu vergessen ist eine strategische Weiterentwicklung der Modellierungssoftware. Es ist möglich, dass einige Prozesse im Laufe der Jahre automatisiert werden. Ebenfalls können weitere spezielle Werkzeuge für die Gebäudemodellierung entwickelt werden. Die Verwendung des CityGML-Datenformates ist auf lange Sicht durch die Weiterentwicklung und Pflege des CityGML-Datenmodells, für die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten vorteilhaft. Löwner et. al. schrieb einen Ausblick über mögliche Veränderungen von CityGML für die neue Version 3.0. Darin wurde neben den Neuerungen und Verbesserungen das LoD-Konzept überarbeitet [21, Löwner et. al., 2014].

Für eine langfristige Verwendung der 3D-Gebäudemodelle sollte die Modellierung nicht nur auf einen Verwendungszweck, sondern auf mehrere Verwendungszwecke ausgerichtet werden. Der bayerische Landtag wurde für ein digitales Präsentationsmodell erstellt. Das 3D-Modell aus dem CityGRID® Modeler soll nun als räumliches Modell mit einem 3D-Drucker gedruckt werden. Dafür mussten jedoch einige Nacharbeiten durchgeführt werden. Vor der Modellierung sollte mit der Firma geklärt werden, was für einen 3D-Druck beachtet werden muss.

Der Fragebogen ist nicht nur auf ein bestimmtes Unternehmen ausgerichtet. Er beinhaltet verschiedene allgemeine Anforderungen und kann auf spezielle Anforderungen des LDBV für die 3D-Gebäudemodellierung je nach Bedarf erweitert werden.

### 9 Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei allen Personen sehr herzlich bedanken, die mich während meiner Masterarbeit unterstützt haben.

Meinem Betreuer, Herrn Ao.Univ.-Prof. Mag. Dr. Josef Strobl von der Universität Salzburg, danke ich für weitere Anregungen und Kritik.

Besonderen Dank geht an meine beiden Betreuer, Herrn Dr.-Ing. Robert Roschlaub und Herrn Dipl.-Ing. Josef Dorsch vom Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern, für deren ausgezeichnete Unterstützung, sowie an Herrn Sebastian Schützner, der bei Fragen zu SketchUp und der Unterstützung bei der fotografischen Aufnahme der Fassaden hilfreich unterstützte.

Außerdem gilt mein Dank Herrn Mag.rer.nat. Wolfgang Henebichler von UVM Systems GmbH, der mir bei Problemen bei der 3D-Gebäudemodellierung und Fragen zum CityGRID® Modeler hervorragend helfen konnte.

Für das Ausfüllen meines Fragebogens möchte ich mich noch bei Frau M.Sc. Christiane Radies von der Esri Deutschland GmbH und Herrn Dipl.-Ing. Robert Schuldt von der 3DCon GmbH bedanken.

Alle Personen, die hier nicht namentlich aufgeführt sind, jedoch in irgendeiner Art und Weise mitgewirkt haben, gilt ein großer Dank.

Schlussendlich gilt ein besonderer Dank meinen Eltern und der gesamten Familie, die mir dieses Studium ermöglichten und ihre uneingeschränkte Unterstützung anboten.

## 10 Erklärung zur Masterarbeit

### Fachbereich Geoinformatik - Z\_GIS

Masterstudium Angewandte Geoinformatik

Sommersemester 2014

Name: Sylvia Bratfisch

Geburtsdatum: 01.07.1988

Ottobrunn, 31.07.2014

## ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, dass ich die Masterarbeit selbstständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solch gekennzeichnet habe.

Sylvia Bratfisch

## 11 Verzeichnisse

### 11.1 Literatur

- 1 AdV Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland, Produktstandard für 3D-Gebäudemodelle Version 1.2, 30.10.2013
- 2 Albertz, J., Einführung in die Fernerkundung - Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern, 3. Auflage 2007
- 3 Aringer, K., Dorsch, J., Roschlaub, R., Erfassung und Fortführung von 3D-Gebäudemodellen auf Basis von Airborne LiDAR-Daten, Image Matching und Katasterinformationen, zfv - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 138. Jahrgang, Heft 6/2013
- 4 Aringer, K., Hümmer, F., Die dritte Dimension im Kataster - Aufbau eines landesweiten Gebäudemodells am Beispiel Bayerns, zfv - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 136. Jahrgang, Heft 4/2011
- 5 Bauer, M., Coors, V., Schulz, T., Zipf, A. (2008): Zur Nutzung von 3D-Stadtmodellen für mobile Navigationssysteme, GI-Days 2008, Interoperability and spatical processing in GI applications, Münster, Germany
- 6 Bill, R., Grundlagen der Geo-Informationssysteme, Wichmann-Verlag 5. Auflage 2010
- 7 Bleifuss, R., Liebscher, J., CityGML und Facility Management - Perspektiven für das 3D-Stadtmodell München aus dem Tagungsband des 15. Münchener Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme 08.-11. März 2010, Hrsg. M. Schilcher
- 8 Czerwinski, A., Gröger, G., Dörschlag, D., Stroh, V., Kolbe, T. K., Plümer, L., Nachhaltige Erweiterung der Geodateninfrastruktur für 3D-Geodaten auf Basis von CityGML – am Beispiel der EU-Umgebungslärmkartierung, In: Deutsche Gesellschaft für Kartographie, Hrsg. Kartographische Schriften, Band 13, Symposium 2007
- 9 Czerwinski, A., Plümer, L., Landesweite Web Services der GDI NRW und CityGML - erfolgreicher Einsatz für die EU-Umgebungslärmkartierung, In: GIS.Business, Vol. 7, 2008
- 10 Drees, R., Jakob, A., Ruff, B. P., CityGML in der Praxis Nutzung von 3D-Stadtmodellen mit kommerzieller Standard-Software, In: Geoinformatik und Erdbeobachtung, Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Hrsg. Seyfert, E., Band 15, 2006
- 11 DIN, Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 18740-6, Oktober 2013, Photogrammetrische Produkte - Teil 6: Anforderungen an digitale Höhenmodelle
- 12 Gröger, G., Kolbe, T. H., Plümer, L., Zur Konsistenz bei der Visualisierung multiskaliger 3D-Stadtmodelle, In: Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 31, September 2004
- 13 Jung, T., Mausbach-Judith, T., Ableitung von 3D-Gebäudeobjekten aus 3D-Solardachflächen und Katastergrundrissen mit Hilfe von SketchUp, zfv - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 138. Jahrgang, Heft 5/2013
- 14 Kirchhoff, S., Kuhnt, S., Lipp, P., Schlawin, S., Machen wir doch einen Fragebogen, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2000

- 
- 15 Kolbe, T. H., Interoperable 3D-Visualisierung („3D Web Map Server“), In: Tagungsband zum Symposium Praktische Kartographie 2004 in Königslutter, 17.-19.5.2004, Kartographische Schriften, Band 9, Kirschbaum Verlag, Bonn
  - 16 Kolbe, T. H., Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML, In: 3D Geo-Information Sciences, Hrsg. Lee, J., Zlatanova, S., Kapitel 2, 2009
  - 17 Kulawik, R., Schilling, S., Zipf, A., Landesweite 3D-Stadtmodelle im Internet auf Basis offener Standards des Open Geospatial Consortiums (OGC) - das Beispiel Nordrhein-Westfalen-3D, In: Schrenk, M., Popovich, V. V., Engelke, D., Elisei, P., REAL CORP 2009 Proceedings/Tagungsband 22-25 April 2009
  - 18 LDBV, Tutorial zum Produktionsprozess der LoD2 Erstellung - Software BuildingReconstruction, Version vom 08.06.2012
  - 19 Löwner, M.-O., Benner, J., Gröger, G., Gruber, U., Häfele, K.-H., Schlüter, S., CityGML 2.0 – Ein internationaler Standard für die 3D-Stadtmodelle Teil 1: Datenmodell, zfv - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 137. Jahrgang, Heft 6/2012
  - 20 Löwner, M.-O., Casper, E., Becker, T., Benner, J., Gröger, G., Gruber, U., Häfele, K.-H., Kaden, R., Schlüter, S., CityGML 2.0 - Ein internationaler Standard für 3D-Stadtmodelle Teil 2: CityGML in der Praxis, zfv - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 138. Jahrgang, Heft 2/2013
  - 21 Löwner, M.-O., Benner, J., Gröger, G., Aktuelle Trends in der Entwicklung von CityGML 3.0, Gemeinsame Tagung 2014 der DGfK, der DGPF, der GfGI und des GiN, DGPF Tagungsband 23 / 2014
  - 22 Moosbrugger, H., Kelava, A., Testtheorie und Fragebogenkonstruktion, Springer-Verlag, 2. Auflage 2012
  - 23 Moser, J., 3D-Stadtmodelle - Esri CityEngine modelliert städtische Räume schnell und effizient, gis.BUSINESS 8/2013
  - 24 Open Geospatial Consortium, OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, OGC 12-019, Version 2.0.0, 2012
  - 25 Pilshofer, B., Wie erstelle ich einen Fragebogen? Ein Leitfaden für die Praxis, Wissenschaftsladen Graz, Institut für Wissens- und Forschungsvermittlung, 2. Auflage 2001
  - 26 Porst, R., Fragebogen - Ein Arbeitsbuch, Springer VS, 4. Auflage 2014
  - 27 Porst, R., Wie man die Rücklaufquote bei postalischen Befragungen erhöht, ZUMA How-to-Reihe, Nr. 9, 2001
  - 28 Potthoff, P., Eller, M., Survey mit Fragebogen: Vor- und Nachteile verschiedener Erhebungsverfahren, Zeitschrift für Gesundheitswissenschaften = Journal of Public Health, Band 8(2), Seite 100-105, 2000
  - 29 Reimers, A., 3D-Stadtmodell Stadt Zürich - auf dem Weg zu zentralen 3D-Geobasisdaten aus dem Tagungsband des 15. Münchener Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme 08.-11. März 2010, Hrsg. M. Schilcher
  - 30 Richtlinie 2007/2/EG des europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE) vom 14.03.2007

- 31 Schnell, R., Hill, P. B., Esser, E., Methoden der empirischen Sozialforschung, Oldenbourg Verlag, 9. Auflage 2011
- 32 Simon, M., Risikomodellierung auf Basis eines 3D-Gebäudemodells - Kooperationsprojekt zwischen der Munich Re und der LMU München, Artikel erschienen in DVV-Bayern e.V. Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 64. Jahrgang, Heft 3 - 3. Quartal 2012
- 33 Steffens, E., Lüthje, J., Faus, H., Einfach SketchUp - Eine Gebrauchsanweisung, 2. Auflage 2012
- 34 UVM Systems GmbH (2013)  
Handbuch CityGRID® Grundlagen
- 35 UVM Systems GmbH (2013)  
Handbuch CityGRID® Modeler
- 36 virtualcitySYSTEMS GmbH (2012)  
BuildingReconstruction 2012 Benutzerhandbuch
- 37 Willkomm, P., Geotopographie, 3D und Geodateninfrastruktur - Ganzheitliche Lösungen von der großflächigen Gebäudemodellierung bis zur Solarpotenzialanalyse aus dem Tagungsband des 15. Münchener Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme 08.-11. März 2010, Hrsg. M. Schilcher

---

## 11.2 Internetquellen

- 1 3DCon  
<http://www.tridicon.de/software/tridicon-3d-landmark/>
- 2 AGIS GmbH  
<http://www.geoas.de/pages/de/unternehmen/impressum.php> (Zugriff: 08.06.2014)
- 3 ArcGIS Rescource Center  
<http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//00q8000000mv000000>  
(Zugriff: 14.06.2014)
- 4 buildingSMART  
<http://www.buildingsmart.de/bim-know-how/standards> (Zugriff: 28.07.2014)
- 5 ESRI  
<http://www.esri.de/branchen/geoinformationswesen/3d-cityengine> (Zugriff: 10.06.2014)
- 6 ESRI  
<http://www.esri.de/neuigkeiten/news/140606-cityengine-2014-neue-version>  
(20.06.2014)
- 7 Kolbe, T. H.,  
<http://www.citygml.org/index.php?id=1533> (Zugriff: 08.05.2014)
- 8 LDBV  
[http://vermessung.bayern.de/historisches/historische\\_ansichten.html](http://vermessung.bayern.de/historisches/historische_ansichten.html)  
(Zugriff: 28.07.2014)
- 9 LDBV  
[http://vermessung.bayern.de/geobasis\\_lvg/gelaendemodell/laserpunkt.html](http://vermessung.bayern.de/geobasis_lvg/gelaendemodell/laserpunkt.html)  
(Zugriff: 23.04.2014)
- 10 LDBV  
[http://vermessung.bayern.de/geobasis\\_lvg/gelaendemodell/DGM1.html](http://vermessung.bayern.de/geobasis_lvg/gelaendemodell/DGM1.html)  
(Zugriff: 23.04.2014)
- 11 LDBV  
[http://vermessung.bayern.de/geobasis\\_lvg/dfk.html](http://vermessung.bayern.de/geobasis_lvg/dfk.html) (Zugriff: 23.04.2014)
- 12 SIG 3D  
<http://www.sig3d.org/> (Zugriff: 04.06.2014)
- 13 Westfälische Hochschule  
<http://www.citygml.de/index.php/Download.html>

### 11.3 Abbildungen

Abb. 1	„Level of Detail von LoD0 bis LoD4 [Kolbe]“ Kolbe, T. H., Gröger, G., Plümer, L. (2005): CityGML - Interoperable Access to 3D City Models. Aus: Oosterom, Zlatanova, Fendel (Eds.): Proceedings of the Int. Symposium on Geo-Information for Disaster Management, Delft, Niederlande, 21.-23. März, Springer Verlag (Abbildungen von LoD1-LoD4)	7
Abb. 2	„Aktueller Arbeitsstand der 3D-Gebäude im LoD2 in Bayern [LDBV]“ LDBV: <a href="http://www.geodaten.bayern.de/download/uebersicht_LOD/LoD2_InternetUebersicht.pdf">http://www.geodaten.bayern.de/download/uebersicht_LOD/LoD2_InternetUebersicht.pdf</a> (Zugriff: 28.07.2014)	12
Abb. 3	„Funktionsweise des Airborne Laserscannings [Stadtvermessung Wien]“ <a href="https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/images/als-technologie.gif">https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/images/als-technologie.gif</a> (Zugriff: 08.06.2014)	13
Abb. 4	„Airborne Laserscanning [Terra Imaging]“ <a href="http://www.terraimaging.de/upload/Bilder/Technology/9_tech_laser_2_pop.jpg">http://www.terraimaging.de/upload/Bilder/Technology/9_tech_laser_2_pop.jpg</a> (Zugriff: 08.06.2014)	14
Abb. 5	„Digitales Geländemodell und Digitales Oberflächenmodell der gleichen Region [LDBV]“ <a href="http://vermessung.bayern.de/geobasis_lvg/gelaendemodell/laserpunkt.html">http://vermessung.bayern.de/geobasis_lvg/gelaendemodell/laserpunkt.html</a> (Zugriff: 08.06.2014)	14
Abb. 6	„Klassifizierung der Laser-Punkte [LDBV]“ <a href="http://vermessung.bayern.de/geobasis_lvg/gelaendemodell/laserpunkt.html">http://vermessung.bayern.de/geobasis_lvg/gelaendemodell/laserpunkt.html</a> (Zugriff: 05.06.2014)	15
Abb. 7	„Basiselemente eines 3D-Objektes“	16
Abb. 8	„Texture-Mapping“	16
Abb. 9	„Module des CityGML-Schemas [OGC]“ Open Geospatial Consortium, OGC City Geography Markup Language (CityGML) En-coding Standard, OGC 12-019, Version 2.0.0, 2012	17
Abb. 10	„Gebäudebegrenzungsflächen nach CityGML für Gebäude ab LoD2“	18
Abb. 11	„XML-Datei eines Digitalen Geländemodells“	19
Abb. 12	„Übersicht über die Verwendung der einzelnen Softwarepakete im Zusammenhang [Esri]“ <a href="http://www.esri.de/branchen/geoinformationswesen/3d-cityengine">http://www.esri.de/branchen/geoinformationswesen/3d-cityengine</a> (Zugriff: 10.06.2014)	21
Abb. 13	„CityGRID® Produkte“	22
Abb. 14	„Aufbau des CityGRID® Modelers“	22
Abb. 15	„Konvertierung des CityGML-Formates in ein XML-Format“	23
Abb. 16	„Benutzeroberfläche des CityGRID® Modelers“ Screenshot des CityGRID® Modelers	24
Abb. 17	„Unit [UVM]“ UVM Systems GmbH (2013), Handbuch CityGRID® Grundlagen	24

---

Abb. 18	„Objekte [UVM]“ UVM Systems GmbH (2013), Handbuch CityGRID® Grundlagen	24
Abb. 19	„Haupt-Elementkomplex [UVM]“ UVM Systems GmbH (2013), Handbuch CityGRID® Grundlagen	25
Abb. 20	„Elemente [UVM]“ UVM Systems GmbH (2013), Handbuch CityGRID® Grundlagen	25
Abb. 21	„Detail-Elementkomplex [UVM]“ UVM Systems GmbH (2013), Handbuch CityGRID® Grundlagen	25
Abb. 22	„Benutzeroberfläche Google SketchUp“	27
Abb. 23	„Funktionen des Plug-ins in SketchUp für CityGML“	28
Abb. 24	„Digitales Geländemodell“ Daten des Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung	29
Abb. 25	„Digitales Geländemodell in ASCII Grid-Format“ Daten des Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung	30
Abb. 26	„Digitales Oberflächenmodell im XYZ-Format“ Daten des Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung	30
Abb. 27	„Farbcodiertes Rasterbild der Kachel 4469_5333“ Daten des Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung	31
Abb. 28	„Workflow der 3D-Gebäudemodellerstellung im BRec [virtualcitySYSTEMS]“ virtualcitySYSTEMS GmbH (2012), BuildingReconstruction 2012 Benutzerhandbuch	32
Abb. 29	„Standarddachformen im BRec 2012 [virtualcitySYSTEMS]“ virtualcitySYSTEMS GmbH (2012), BuildingReconstruction 2012 Benutzerhandbuch	33
Abb. 30	„Kachel 4469_5333“ Daten des Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung	34
Abb. 31	„Fenster der Rekonstruktionseinstellungen im BRec“ Screenshot vom BRec	35
Abb. 32	„Gebäudemodell im Editiermodus vor der Bearbeitung mit farbcodierten Rasterbild“	36
Abb. 33	„Gebäudemodell im Editiermodus nach der Bearbeitung mit farbcodierten Rasterbild“	36
Abb. 34	„Neubau eines Gebäudes mit altem Grundriss“	37
Abb. 35	„Darstellung der Laserscanpunkte eines Kranes“	37
Abb. 36	„Alter Gebäudegrundriss und im Hintergrund die neue Gebäudeform“	37
Abb. 37	„Objekt-Explorer mit dem Status des Gebäudes“	37
Abb. 38	„Modellierung des Landtages im LoD2“	38
Abb. 39	„Vorderansicht des modellierten Landtages im LoD2 mit Laserscanpunkten“	38
Abb. 40	„FME - Landtag - Surface“	39

Abb. 41	„FME - Landtag - Linien XML“	39
Abb. 42	„FME - Landtag - DGM“	40
Abb. 43	„FME - Landtag - DTM“	40
Abb. 44	„Verschiedene Dachaufbauten“	41
Abb. 45	„Wintergarten“	41
Abb. 46	„Dachüberhang“	42
Abb. 47	„Durchgang und Treppe“	42
Abb. 48	„Arkadengang und Turm“	43
Abb. 49	„Arkadengang mit Turm“	44
Abb. 50	„Turm“	44
Abb. 51	„Figuren und Bavaria“	45
Abb. 52	„Fahnen“	45
Abb. 53	„Neues Gebäude“	46
Abb. 54	„Arbeitsschritte im Texturfenster“	47
Abb. 55	„Erstellte Fassadentextur“	47
Abb. 56	„Vorderseite des Landtages“	48
Abb. 57	„Rückseite des Landtages“	48
Abb. 58	„Verschiedene Dachaufbauten“	49
Abb. 59	„Wintergarten“	49
Abb. 60	„Dachüberhang“	50
Abb. 61	„Durchgang und Treppe“	50
Abb. 62	„Arkadengang und Turm“	51
Abb. 63	„Arkadengang mit Turm“	51
Abb. 64	„Turm“	51
Abb. 65	„Figuren und Bavaria“	52
Abb. 66	„Fahnen“	52
Abb. 67	„Neues Gebäude“	53
Abb. 68	„Arbeitsschritte im Texturfenster“	53
Abb. 69	„Erstellte Fassadentextur“	54
Abb. 70	„Vorderseite des Landtages“	54
Abb. 71	„Rückseite des Landtages“	54
Abb. 72	„Gestaltung der Fragenformulierungen“	57
Abb. 73	„Ergebnisse der Modellierung für das Erstellen einer Durchfahrt“	73
Abb. 74	„Ergebnisse der Modellierung für Rundbogendurchgang und Balkon“	74
Abb. 75	„Ergebnisse der Modellierung für Schleppgaube und Walmgaube“	75

Abb. 76	„Ergebnisse der Modellierung eines Zwiebelturm“	76
Abb. 77	„Aufteilung eines möglichen Arbeitsablaufes für die 3D-Gebäudeerstellung im LoD3“	99

#### **11.4 Tabellenverzeichnis**

Tab. 1	„Zielgruppen und Anwendungen für Digitale Stadtmodelle [Albert et. al.]“ AG 3D-Stadtmodell des AK Kommunales Vermessungs- und Liegenschaftswesen des Städtetages Nordrhein-Westfale, 3D-Stadtmodelle - Eine Orientierungshilfe für die Städte in NRW, Stand: Dezember 2004, Ursprüngliche Ausarbeitung der Tabelle: Albert, J., Bachmann, M., Hellmeier, A., im Rahmen der Arbeitsgruppe „Anwendungen und Zielgruppen“ der SIG 3D im Rahmen der Initiative GDI-NRW, Stand: 02.04.2003	58
Tab. 2	„Gesamte Kosten der Software eines vollständigen Arbeitsablaufes“	98
Tab. 3	„Beispiel der Kosten des LDBV für die Standorten: München, Schwabach und Coburg“	101

---

## 11.5 Abkürzungen

AAA-Modell	AFIS-ALKIS-ATKIS-Modell
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltung der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AFIS	Amtliches Festpunkt-Informationssystem
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem
ALS	Airborne Laserscanning
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATKIS	Amtliches Topografisch-Kartographisches Informationssystem
bDOM	bildbasiertes Digitales Oberflächenmodell
BRec	BuildingReconstruction
CAD	Computer-Aided Design
CGA	Computer Generated Architecture
CityGML	City Geography Markup Language
COLLADA	COLLABorative Design Activity
DFK	Digitalen Flurkarte
DGM	Digitales Geländemodell
DHHN92	Deutsches Haupthöhennetz 1992
DHM	Digitales Höhenmodell
DOM	Digitales Oberflächenmodell
DOP	Digitales Orthofoto
DTM	Digital Terrain Model
DWG	Drawing
DXF	Drawing Interchange File
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETH Zürich	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
ETL-Technologie	Extract, Transform, Load - Technologie
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
FME	Feature Manipulation Engine
GDI-NRW	Geodateninfrastruktur Nordrhein-Westfalen
GEBID	Gebäudeidentifikation
GIS	Geoinformationssysteme
GML	Geography Markup Language
GNSS	Global Navigation Satellite Systems

GPS	Global Positioning System
GRS80	Geodätisches Referenzsystem 1980
GTA	Geoinformatik GmbH
HTML	Hypertext Markup Language
ID-Nummer	Identifikationsnummer
INS	Inertial Navigation System
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in Europe
ISO	International Organization for Standardization
KML	Keyhole Markup Language
LDBV	Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
LiDAR	Light Detection And Ranging
LoD	Level of Detail
MGI	Militärgeographisches Institut
NAS	Normbasierte Austauschschnittstelle
OGA	Computer Generated Architecture
OGC	Open Geospatial Consortium
PDF	Portable Document Format
RCS-Wert	Reference Coordinate System Wert
SHP	Shape
SIG 3D	Special Interest Group 3D
SQL	Structured Query Language
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TIN	Triangulated Irregular Network
UML	Unified Modeling Language
USB	Universal Serial Bus
UTM	Universal Transverse Mercator
UV-Licht	Ultraviolettes Licht
UVM Systems	Urban Visualisation and Management Systems
VCS	virtualcitySYSTEMS GmbH
VermKatG	Vermessungs- und Katastergesetz
VRML	Virtual Modelling Language
Win	Windows
XML	Extensible Markup Language
ZSHH	Zentrale Stelle Hauskoordinaten und Hausumringe

## 12 Anhang

### 12.1 Fragenkatalog

Dieser Fragenkatalog ist ein Teil der Masterarbeit, für die Vergleichsstudie von Softwarepaketen zur Erstellung und Fortführung von 3D-Gebäudemodellen als Landmarks im Level of Detail 3 (LoD3). Die Fragen wurden in mehrere Themenbereiche aufgeteilt. Die meisten Fragen sind nur mit „Ja“ und „Nein“ zu beantwortet. Einige jedoch benötigen eine kurze schriftliche Antwort von Ihnen.

#### Allgemeines

1. Wie werden die 3D-Gebäudemodelle im LoD3 erstellt (zeichnerische Werkzeuge, Programmierung, usw.)?  
.....
2. Sind Daten für die Modellierung erforderlich, wenn „Ja“, welche?      Ja       Nein   
.....
3. Können bestehende LoD2 Gebäude in LoD3 veredelt werden?      Ja       Nein
4. Besteht die Möglichkeit für die Modellierung in LoD4?      Ja       Nein
5. Kann die amtliche Grundrisstreue beibehalten werden?      Ja       Nein
6. Ist die Kombination und Visualisierung von LoD3-Gebäuden mit einem Vegetationsmodell umsetzbar?      Ja       Nein
7. Können Animationen von fließendem Verkehr erstellt werden (z. B. Fußgänger, Fahrräder, Züge)?      Ja       Nein
8. Ist es möglich, die Sachdatenerfassung (Attribute) zu erweitern?      Ja       Nein
9. Gibt es verschiedene Ansichten (2D und 3D) des Gebäudemodells auf der Benutzeroberfläche zur selben Zeit?      Ja       Nein
10. Sind die Objekte/Elemente nach einer bestimmten Hierarchie/Layerebenen zu verwalten?      Ja       Nein
11. Ist es möglich, Objekte/Elemente zu kopieren?      Ja       Nein
12. Ist es möglich, Objekte/Elemente zu spiegeln?      Ja       Nein
13. Auf welcher Basis wird die Flächenbildung erstellt (z. B. Dreiecksvermaschungen)?  
.....
14. Können mehrere Gebäude zur gleichen Zeit in der Ansicht dargestellt werden?      Ja       Nein
15. Gibt es Tastenkombinationen für ein schnelleres Arbeiten?      Ja       Nein
16. Werden Fehlermeldungen angezeigt?      Ja       Nein

---

**Import und Export in das Softwareprogramm**

- |   |                             |                               |
|---|-----------------------------|-------------------------------|
| 17. Ist der direkte Import von bestehenden LoD2-Gebäuden im CityGML-Dateiformat möglich? Wenn „Nein“, gibt es die Möglichkeit, die CityGML-Datei zu konvertieren? | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> |
| .....   |                             |                               |
| 18. Kann das LoD3-Gebäude als CityGML-Dateiformat exportiert werden?  | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> |
| 19. Welche Dateiformate können exportiert werden?   | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> |
| .....   |                             |                               |
| 20. Kann ein digitales Geländemodell zu dem Gebäudemodell hinzugeladen werden?  | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> |
| 21. Besteht die Möglichkeit des Imports von Laserscanning-Daten, um die Dachstruktur und deren exakten Höhe zu modellieren?                                       | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> |
| 22. Welche weiteren Dateiformate können noch importiert werden?   | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> |
| .....   |                             |                               |
| 23. Sind die Gebäude direkt aus einer Datenbank abrufbar?   | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> |
| 24. Ist eine spezielle Datenbank zwingend notwendig?  | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> |
| 25. Ist eine herstellungsunabhängige Datenbank nutzbar?   | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> |
| 26. Ist der Import über ein Filesystem möglich?   | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> |
| 27. Bleibt das 3D-Gebäude beim Import georeferenziert?  | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> |
| 28. Besitzt das 3D-Gebäudemodell nach dem Export noch die gleiche Koordinatenposition?  | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> |

## Modellierung

29. Können zu den bestehenden Gebäuden auch neue Gebäude ohne 2D-Grundriss erstellt werden? Ja  Nein
30. Sind Dachaufbauten wie Walmdgaube, Schleppeggaube (schräg bzw. liegend), Fledermausgaube, Dachreiter modellierbar? Ja  Nein
31. Können Dachüberhänge modelliert werden, ohne dabei die Grundrissstreue zu verletzen? Ja  Nein
32. Gibt es ein eigenes Werkzeug, um Dachüberhänge zu modellieren und wenn „Ja“, wie nennt sich dieses? Ja  Nein
- .....
33. Können Hausdurchgänge, Arkadengänge und Tunnel modelliert werden und wenn „Ja“, wie nennt sich dieses Werkzeug? Ja  Nein
- .....
34. Ist es möglich Gebäudeanbauten wie Balkone und Wintergärten anzuhängen, ohne dass eine eigene GebäudeID erstellt wird? Ja  Nein
35. Ist die Darstellung von Fenstern und Türen mit der Form als Rechteck einige Zentimeter einrückbar zu modellieren? Ja  Nein
36. Ist das Einrücken von Bogenfenstern/-türen um einige Zentimeter modellierbar? Ja  Nein
37. Sind Elemente wie Säulen zu modellieren? Ja  Nein
38. Können Zwiebeltürme modelliert werden (Grundrissstreue muss nicht zwingend eingehalten werden)? Ja  Nein

## Texturieren

39. Besteht die Möglichkeit zur automatischen Ableitung der Dachtexturen aus (True-)Orthofotos? Ja  Nein
40. Besteht die Möglichkeit zur automatischen Ableitung von Fassadentexturen aus orientierten Bilddateien? Ja  Nein
41. Ist das Einbringen von nichtorientierten Fotos für die Fassade möglich? Ja  Nein
42. Müssen die nichtorientierten Fotos vor dem Auftragen auf die Fassaden entzerrt werden? Ja  Nein
43. Kann die Software selbstständig ein nichtorientiertes Foto über das Festlegen von vier Eckpunkten transformieren? Ja  Nein
44. Ist es möglich, verschiedene Materialoberflächen zu erzeugen (z. B. Bibliothek für künstlich erzeugte Fassadentexturen)? Ja  Nein
45. Können Bildelemente vertikal als „plane“ (2D-Fläche) dargestellt werden, wie z. B. eine Statue oder Fahne? Ja  Nein

**Systemvoraussetzungen**

46. Ist ein stereoskopischer 3D-Arbeitsplatz notwendig? Ja  Nein

47. Was sind die Mindestvoraussetzungen bzw. die empfohlenen Anforderungen an die Hardware/Software für die Bearbeitung und das Texturieren von Gebäuden in LoD3?

Arbeitsspeicher:

mindestens ..... empfohlen .....

Grafikkarten Speicher:

mindestens ..... empfohlen .....

Betriebssystem:

.....

48. Werden Basisprogramme zur Nutzung der Software benötigt?

.....

49. Gibt es Extensions für die Software, wenn „Ja“ welche? Ja  Nein

.....

.....

50. Sonstige wichtige Anforderungen an Hardware/Software?

.....

.....

**Software Lizenz**

51. Was für Software Lizenzen gibt es und wie sind deren Kosten?

.....

.....

.....

52. In welchem Zeitumfang kann die Software kostenlos getestet werden?

.....

.....

53. In welchen Sprachen kann die Software erworben werden?

.....

---

## Schulungen

54. Wie lange dauert ungefähr das selbständige Erlernen der Software für die Modellierung einfacher Gebäude, wie Walmgauben, Durchgänge, Zwiebeltürme, Dachüberstände?

.....  
.....  
.....

55. Wenn Schulungen angeboten werden, wie viele Tage müssten mindestens angesetzt werden und wie hoch ist dabei die maximale Teilnehmeranzahl?

.....  
.....

56. Existieren Handbücher? Ja  Nein

57. Besteht eine Verknüpfung zu Online-Hilfsmitteln? Ja  Nein

58. Stellen Sie eigene Tutorial für die Gebäudemodellierungen außerhalb der Schulung zur Verfügung? Ja  Nein

### Beispiele für die Modellierung

Es gibt verschiedene Schwerpunkte, die für die Auswertung modelliert werden sollten. Bitte schreiben Sie die Werkzeuge, die für die Modellierung benötigt wurden, auf und geben Sie eine kurze Beschreibung der Vorgehensweise an (Screenshots Ihrer Modellierung wären für mich ebenfalls sehr hilfreich).

Die mitgelieferten Gebäude wurden automatisch als LoD2 abgeleitet und stehen für Sie als CityGML-, KML- bzw. Shape-Datei zur Verfügung. Die Daten für die 3D-Gebäude werden vom Bayerischen Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung zur Verfügung gestellt und dürfen aus rechtlichen Gründen ausschließlich für diesen Fragebogen der Masterarbeit verwendet werden.

59. Wie würde diese Durchfahrt des Rathauses in Neu-Ulm (GEBID 593633) modelliert werden?



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

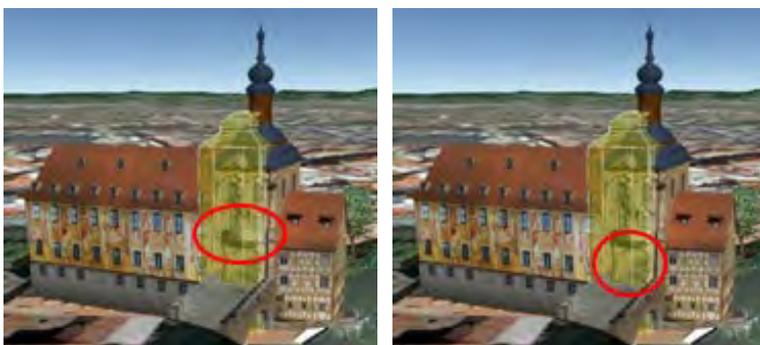
.....

.....

.....

.....

60. Wie würde der Balkon und der Rundbogendurchgang des alten Rathauses in Bamberg (GEBID 2693957) modelliert werden?



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

61. Wie würden die fehlenden Gauben dieses LoD2-Gebäudes in Andechs (GEBID 3652806) ausmodelliert werden?

Gaube 1 sollte eine Schleppgaube und Gaube 2 eine Walmgaube werden.



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

62. Wie würde dieser Zwiebelturm der Wallfahrtskirche in Wilparting (GEBID 5871601) modelliert werden?



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Sonstige Informationen**

63. Falls einige wichtige Informationen über Ihre Software in keiner vorherigen Fragen beantwortet wurden, können Sie hier noch weitere Informationen ergänzen.

.....

.....

.....

.....

.....

## 12.2 Kostenanalyse der Lizenzen

Die nachfolgende Tabelle zeigt eine ungefähre Kostenübersicht der 3D-Modellierungssoftware und weiterer Programme, die für einen reibungslosen Ablauf benötigt werden. Die Preise der Softwarepakete sind je nach Region unterschiedlich, daher können zum Beispiel auch die US-Preise von den Deutschen-Softwarepreisen abweichen. Die Währungsumrechnung von US-Dollar in Euro ist mit einem Umrechnungskurs von 0,7424 durchgeführt worden. Einige Programme werden in der Berechnung als Jahres-Lizenzen angegeben.

	US-Dollar	Euro	Anmerkung
<b>CityEngine</b>			
CityEngine	4.000,00	2.969,60	
FME Desktop Suite	699,00	518,94	Serverlizenz möglich
Adobe Photoshop Jahres-Abo		294,97	Monats-Abo: 36,89 €
		<u>3.783,51</u>	
<b>CityGRID® Modeler</b>			
CityGRID® Modeler		5.000,00	
3ds Max Jahres-Mietlizenz		1.794,00	Kauf: 4.485,00, Monats- oder Vierteljähriges-Abo
FME Desktop Suite	699,00	518,94	
Adobe Photoshop Jahres-Abo		294,97	Monats-Abo: 36,89 €
		<u>7.607,91</u>	
<b>SketchUp Pro</b>			
SketchUp Pro Einzelplatz		536,69	Netzwerklizenz bei min. 10 Plätze: 1184,08 €
Plug-in für CityGML		kostenlos	
Adobe Photoshop Jahres-Abo		295,00	Monats-Abo: 36,89 €
		<u>831,69</u>	
<b>tridicon® 3D Landmark</b>			
Paket tridicon® 3D Landmark		keine Angabe	
Adobe Photoshop Jahres-Abo		295,00	Monats-Abo: 36,89 €
		<u>295,00</u>	

Tab. 2: Gesamte Kosten der Software eines vollständigen Arbeitsablaufes

Die gesamte Softwareausstattung ist von den Kosten für einen vollständigen Arbeitsablauf der Erstellung von 3D-Gebäudemodellen im LoD3 sehr unterschiedlich. Auf ein Jahr gesehen und mit den entsprechenden Lizenzen ist, wie Tab. 2 zeigt, SketchUp die günstigste Variante. Das tridicon® 3D Landmark wird hier nicht mit betrachtet, da keine Angabe über den Preis vorhanden ist. Der CityGRID® Modeler ist gegenüber den anderen Softwarepaketen recht teuer, hinzu kommt das benötigte Basisprogramm 3ds Max, was bei anderen Herstellern nicht benötigt wird. Die CityEngine liegt im mittleren Preisfeld. Um allgemein die Kosten zu senken, kann neben dem kostenpflichtigen Bildbearbeitungsprogramm Adobe Photoshop eines der kostenlosen Programme zur Bildbearbeitung, wie zum Beispiel GIMP, verwendet werden. Für einen dauerhaften Einsatz der LoD3-Gebäudeerstellung werden durch Monats-Abos keine Kosten gespart, bei unregelmäßigen Arbeiten dagegen schon. Jedoch muss beachtet werden, dass eine Bearbeitung von

ihrer Art und Größe abhängig ist. Eine Bearbeitung kann innerhalb von ein paar Tage bis hin zu Wochen dauern. Daher ist es für ein Unternehmen nicht geeignet, nur ein gesamtes Softwarepaket für einen Arbeitsplatz zur Erstellung von 3D-Gebäudemodellen im LoD3 zu besitzen. Das Softwarepaket benötigt ebenfalls die entsprechende Hardware. Diese sollte „mindestens“ die empfohlenen Anforderungen des Softwareherstellers aufweisen. Dadurch können zum Beispiel längere Ladezeiten der 3D-Gebäudemodelle vermieden werden. Aus wirtschaftlichen Gründen wäre es geeignet, die Arbeitsschritte aufzuteilen. In Abb. 77 wird eine mögliche Aufteilung eines Arbeitsablaufes für die LoD3-Gebäudeerstellung dargestellt.

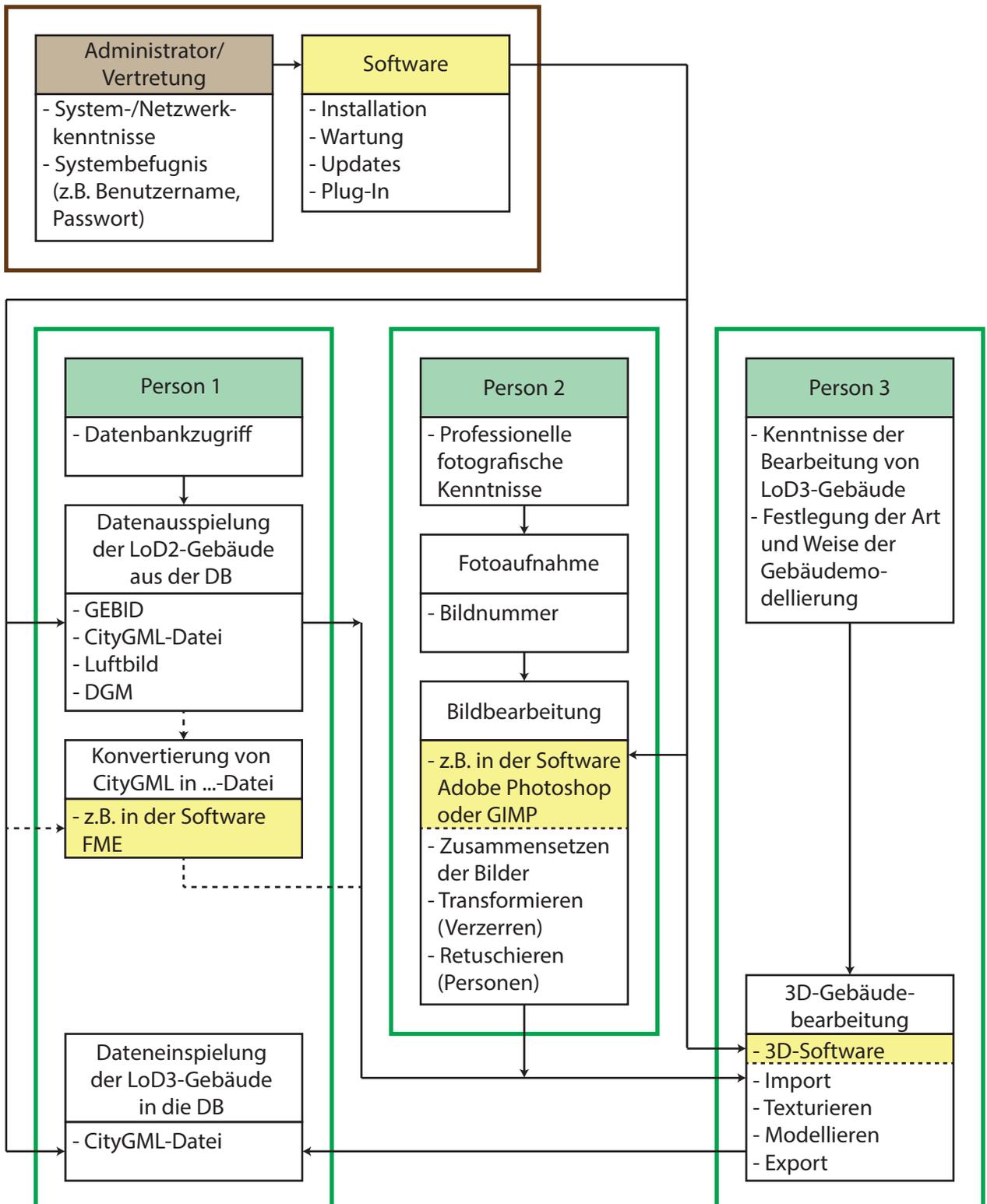


Abb. 77: Aufteilung eines möglichen Arbeitsablaufes für die 3D-Gebäudeerstellung im LoD3

Für einen reibungslosen Software-/Hardwareablauf wird ein Administrator eingesetzt, der sich um die gesamte Technik kümmert. Der Grund dafür ist, dass in einem Unternehmen die meisten Mitarbeiter keine Befugnis haben, eine Software zu installieren. Die Aufgaben, für das Ein- und Ausspielen der Daten über die Datenbank sollte nur von der „Person 1“ beziehungsweise von zwei Mitarbeitern durchgeführt werden, die in Kontakt miteinander stehen. Müssen die ausgespielten Daten in ein anderes Datei-Format konvertiert werden, übernimmt das ebenfalls „Person 1“. Somit werden maximal zwei Softwarelizenzen für die Konvertierungssoftware benötigt. Für Präsentationsgebäudemodelle sind Fassadentexturen mit einer hohen Qualität erforderlich, deswegen sollten Fassadenbilder nur von Mitarbeitern („Person 2“) mit fotografischen Kenntnissen aufgenommen und mit der anschließenden Fähigkeit zur Bildbearbeitung durchgeführt werden dürfen. Sind Fassadenbilder aus ungünstigen Blickwinkeln aufgenommen worden, können Umklappeffekte entstehen. Der Mitarbeiter („Person 3“), der die 3D-Gebäudemodelle bearbeitet, kann dadurch Schwierigkeiten bekommen, dass die realen Abstände wie bei Fenstern nicht mehr mit dem Bild übereinstimmen. Die fotografische Gebäudeaufnahme im Gelände sollte daher systematisch durchgeführt werden, um zum Beispiel keine Fassadenfläche zu vergessen. Eine gute Bildaufnahme benötigt weniger Zeit bei der Bearbeitung. Die fotografische Aufnahme der Gebäude kann unabhängig von der darauffolgenden Bearbeitung ausgeführt werden. Steht fest, welche Gebäude als 3D-Modelle im Detaillierungsgrad LoD3 erstellt werden, ist eine Aufnahme vorab möglich. Die Faktoren Wetter und Jahreszeiten müssen berücksichtigt werden. Vorteilhaft ist es sich zu informieren, ob bald ein Baugerüst vor den ausgewählten Gebäuden steht. Für Präsentationszwecke sollte kein Baugerüst auf der Fassade eines 3D-Gebäudemodell abgebildet sein. Der 3D-Gebäudebearbeiter („Person 3“) erhält das importierfähige Gebäudemodell / Luftbild / DGM von „Person 1“ und die bearbeiteten Fassadenfotos von „Person 2“. Dieser Mitarbeiter muss in der Lage sein, Entscheidungen zu treffen, welche wichtigen Gebäudeelemente für eine Bearbeitung notwendig sind. Ein 3D-Gebäudemodell muss auch ohne Textur die optische Form des realen Gebäudes widerspiegeln können.

Dieser Arbeitsablauf wird nun mit den benötigten Lizenzen auf das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern angewendet. Die 3D-Gebäudebearbeitung im LoD3 soll an den drei Standorten: München, Schwabach und Coburg ausgeführt werden. Die Datenauspielung/-einspielung über die Datenbank und Konvertierung erfolgt nur am Standort München. Die Daten werden für die Bearbeitung zwischen den Ämtern ausgetauscht. Damit werden die LoD3-Gebäude ordnungsgemäß in der Datenbank verwaltet. Außerdem besteht ein Überblick, welche der 3D-Gebäudemodelle in Bearbeitung sind. Der Standort, der den kürzesten Weg zu einem Gebäude hat, dass im Detaillierungsgrad LoD3 modelliert werden soll, sollte die Fassadenaufnahmen durchführen. Dieses wäre die beste Variante im Hinblick auf die Faktoren Fahrzeit und Kosten. Es werden jeweils fünf Arbeitsplätze zur 3D-Gebäudemodellierung ausgestattet und drei für die Bildbearbeitung. Die Kostenübersicht wird hier nur für die CityEngine, den CityGRID® Modeler und SketchUp Pro durchgeführt, da nur für den tridicon® 3D Landmark keine Angaben der Preise vorliegen. Neben den auf Dauer zu kaufenden Programmen, beinhaltet die Aufstellung ebenfalls Jahreslizenzen. In dieser Berechnung befinden sich außerdem keine möglichen Rabatte, die die Unternehmen häufig für den Kauf von mehreren Lizenzen geben.

	Lizenzen	US-Dollar	Euro	Gesamt in €
<b>CityEngine</b>				
<b>München</b>				
City Engine	5	4.000,00	2.969,60	14.848,00
FME Serverlizenz			vorhanden	vorhanden
Adobe Photoshop Jahres-Abo	3		294,97	884,91
<b>Schwabach</b>				
City Engine	5	4.000,00	2.969,60	14.848,00
Adobe Photoshop Jahres-Abo	3		294,97	884,91
<b>Coburg</b>				
City Engine	5	4.000,00	2.969,60	14.848,00
Adobe Photoshop Jahres-Abo	3		294,97	884,91
				<u>47.198,73</u>
<b>CityGRID® Modeler</b>				
<b>München</b>				
CityGRID Modeler	5		5.000,00	25.000,00
3ds Max Jahres-Mietlizenz	5		1.794,00	8.970,00
FME Serverlizenz			vorhanden	vorhanden
Adobe Photoshop Jahres-Abo	3		294,97	884,91
<b>Schwabach</b>				
CityGRID Modeler	5		5.000,00	25.000,00
3ds Max Jahres-Mietlizenz	5		1.794,00	8.970,00
Adobe Photoshop Jahres-Abo	3		294,97	884,91
<b>Coburg</b>				
CityGRID Modeler	5		5.000,00	25.000,00
3ds Max Jahres-Mietlizenz	5		1.794,00	8.970,00
Adobe Photoshop Jahres-Abo	3		294,97	884,91
				<u>104.564,73</u>
<b>SketchUp Pro</b>				
<b>München</b>				
SketchUp Pro Einzelplatz	5		536,69	2.683,45
Plug-in für CityGML	5		kostenlos	kostenlos
Adobe Photoshop Jahres-Abo	3		295,00	885,00
<b>Schwabach</b>				
SketchUp Pro Einzelplatz	5		536,69	2.683,45
Plug-in für CityGML	5		kostenlos	kostenlos
Adobe Photoshop Jahres-Abo	3		295,00	885,00
<b>Coburg</b>				
SketchUp Pro Einzelplatz	5		536,69	2.683,45
Plug-in für CityGML	5		kostenlos	kostenlos
Adobe Photoshop Jahres-Abo	3		295,00	885,00
				<u>10.705,35</u>

Tab. 3: Beispiel der Kosten des LDBV für die Standorte: München, Schwabach und Coburg