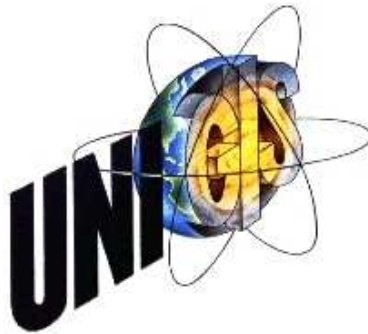




Master Thesis

im Rahmen des
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Zentrum für GeoInformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

„Konzeption und Aufbau eines virtuellen 3D Stadtmodells -“ am Beispiel der Stadt Kassel

vorgelegt von

Dipl.-Ing. (FH) Steffen Wagner
U1368, UNIGIS MSc Jahrgang 2008

Zur Erlangung des Grades
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Kassel, 17. November 2010

Vorwort

Bereits seit Anbeginn des Studiums interessieren mich die neuen und fortschreitenden Technologien rund um das Thema der virtuellen 3D Stadtmodelle. Insbesondere die Verknüpfungs- und Anwendungsmöglichkeiten in Zusammenhang mit Geoinformationssystemen (GIS) und die Einbindung in das Projekt „3D Stadtmodell“ bei meinem Arbeitgeber bewegten mich dazu, dieses Thema auch in meiner Master Thesis zu behandeln. Daher möchte ich mich an dieser Stelle bei allen Personen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

- bei Herrn Univ. Prof. Dr. Josef Strobl für die Betreuung dieser Arbeit und die sehr guten und nutzbringenden Informationen, die wesentlich zum Erfolg beigetragen haben.
- beim gesamten UNIGIS Team aus Salzburg; insbesondere bei Herrn Mag. Karl Atzmannsdorfer und Herrn Mag. Michael Fally für die ständige Hilfsbereitschaft und Betreuung während dieser Thesis und des gesamten Studiums.
- bei meinem Amtsleiter Vermessungsdirektor Wiho Wessel und meinem Abteilungsleiter Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Schmidt für die professionelle Unterstützung während des gesamten Projekts.
- bei Vermessungsdirektor a.D. Walter Ortseifen für die Korrekturlesung, und der als damaliger Amtsleiter eine Kooperation des Projekts in Verbindung mit dieser Thesis befürwortete.
- bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern meines Amts, die mir mit ihrem Rat und ihrem Wissen immer zur Seite standen; insbesondere dem „3D Team“, auf das ich jederzeit zurückgreifen konnte.
- bei meinem Bruder Dr. Jochen Wagner für die Korrekturlesung und die wertvollen Anregungen und Ratschläge, die mich in meiner Arbeit weiter brachten.
- nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern für das entgegengebrachte Vertrauen und die Unterstützung bedanken, die mir zu einem erfolgreichen Studium verhelfen.

Erklärung der eigenständigen Abfassung der Arbeit

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat.

Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

Kassel, den 17. November 2010

Steffen Wagner

Kurzfassung

Die dritte Dimension (3D) nimmt in der Geoinformation und darüber hinaus in unserem Alltag einen immer wichtigeren Stellenwert ein. Insbesondere im Bereich der Modellierung von virtuellen 3D Stadtmodellen wird derzeit in vielen Städten und Gemeinden ein Schwerpunkt gesetzt. Der Planungsstand des zuständigen Fachamts der „Vermessung und Geoinformation“ der Stadt Kassel in Nordhessen sieht vor Mitte 2009 mit den Hauptarbeiten zur Erstellung eines Stadtmodells zu beginnen. Schon in der Vorprojektphase wurden verschiedene Methoden und Anwendungen getestet und ausgewertet, so dass nach Abschluss der Sondierungsarbeiten alle benötigten Mittel zum Projektstart zur Verfügung stehen.

Ein Schwerpunkt wurde dabei auf die Möglichkeiten der Visualisierung gelegt, da wegweisend für das Projekt die derzeit laufende UNESCO-Anmeldung ist, den Bergpark Wilhelmshöhe im Westteil des Stadtgebiets mitsamt den barocken Wasserspielen zum Weltkulturerbe zu nominieren. Durch die Unterstützung eines virtuellen 3D Modells können die historisch bestehenden Sichtachsen ausführlich dokumentiert und die vorhandene Topographie besser abgebildet werden. Neben diesem Modell in Bad Wilhelmshöhe wird ein weiteres 3D Modell des Innenstadtgebiets erstellt, das den erweiterten Citybereich um die Fußgängerzone der Stadt zeigt, jedoch inhaltlich mit anderen Zielsetzungen aufgebaut wird.

Im Rahmen dieser Arbeit wird in der ersten Phase ein erweitertes Klötzchenmodell mit den dazugehörigen Dachformen erzeugt, das an besonders markanten Stellen anhand individueller Fassadenaufnahmen weiter aufgewertet wird. Besondere Bauwerke wie Kirchen oder historische und herausragende Gebäude werden in einem gesonderten Schritt erstellt und anschließend als separate 3D Objekte in das Stadtmodell integriert. Diese Objekte sehen eine verhältnismäßig höhere Detailtreue vor, die mit spezieller Modellierungssoftware erzeugt und als sogenannte Landmarken im Stadtmodell dargestellt werden. Weitere Objekte wie Bäume, Verkehrszeichen oder Standorte von Litfaßsäulen werden ebenfalls integriert. Insbesondere für die Darstellung des Bergparkmodells sind die Baumstandorte von entscheidender Bedeutung, da diese die historischen Sichtachsen behindern und den Blick auf den Bergpark teilweise unterbinden könnten.

Abstract

The third dimension (3D) takes out in the geoinformation and also in our everyday lives a more important role. Especially the modeling of virtual 3D city models is being set in many cities and communities by a priority. The planning of the relevant department of "Surveying and Geoinformation" of the city of Kassel in Northern Hesse proposes to start with the main tasks for creating a city model in the middle of 2009. Even in the pre-project phase, different methods and applications were tested and evaluated, so that after completion of the exploratory work appropriate and powerful software for the project start is available.

Leading the way for the project is the ongoing UNESCO declaration, to nominate the "Bergpark Wilhelmshöhe" located in the western part of the city with the Baroque fountains as a World Heritage Site. By the support of a virtual 3D model, the historically documented existing lines of sight, and the existing topography can be better reflected. In addition to this model in Bad Wilhelmshöhe another 3D model is created in the central area, which exhibits the extended city area around the pedestrian zone of the city. However the content of this model is developed with other objectives.

In the first phase of the work an extended block model with the associated roof forms is generated, that has been enhanced by individual front side of buildings at important areas. Special constructions such as churches or historical and prominent buildings are created in a separate step and integrated afterwards as separate 3D objects in the city model. These objects provide a relatively better detail, which are created with special modeling software and displayed as landmarks in the city model. Other objects such as trees or traffic signs shall be included, too. In particular for the representation of the "Bergpark Model", the tree locations are of central importance, as these hold back the historical lines of sight and prevent the view of the Bergpark partially.

Inhaltsverzeichnis

VORWORT

ERKLÄRUNG DER EIGENSTÄNDIGEN ABFASSUNG DER ARBEIT

KURZFASSUNG

ABSTRACT

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

TABELLENVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

1	EINFÜHRUNG	1
1.1	MOTIVATION	1
1.2	ZIELSETZUNG UND AUFGABENSTELLUNG	1
1.3	GLIEDERUNG DER ARBEIT	2
2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN	3
2.1	GRUNDLAGEN	3
2.1.1	<i>Physische Modelle</i>	<i>4</i>
2.1.2	<i>Vorteile und Anwendungen eines virtuellen Stadtmodells</i>	<i>5</i>
2.1.3	<i>Level of Detail (LoD).....</i>	<i>8</i>
2.2	DIGITALES GELÄNDEMOMELL (DGM).....	9
2.2.1	<i>Auswertemethoden</i>	<i>10</i>
2.2.2	<i>TIN</i>	<i>13</i>
2.2.3	<i>Bruchkanten</i>	<i>14</i>
2.3	LUFTBILDER UND ORTHOPHOTOS	15
2.4	GEBÄUDEMODELLIERUNG	17
2.4.1	<i>Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK)</i>	<i>18</i>
2.4.2	<i>LIDAR Daten.....</i>	<i>20</i>
2.5	TEXTUREN	22
2.5.1	<i>Aufnahmen im Straßenraum</i>	<i>23</i>
2.5.2	<i>Eingesetzte Schrägbildaufnahmen</i>	<i>23</i>
2.5.3	<i>Datenschutz.....</i>	<i>25</i>
2.6	STADTMÖBLIERUNG	26
2.7	LANDMARKEN (LANDMARKS)	27
2.8	INTEROPERABILITÄT	27
2.8.1	<i>CityGML</i>	<i>28</i>

2.8.2	3DS	29
2.8.3	3D PDF	29
2.8.4	KML	30
2.8.5	Videodateien	31
2.8.6	Viewer mit Inter-/Intranetanschluss	32
2.9	FAZIT	33
3	AUSGANGSSITUATION UND RAHMENBEDINGUNGEN	34
3.1	DIE STADT KASSEL	34
3.2	ZUSTÄNDIGE EINRICHTUNGEN UND KOOPERATIONEN	36
3.2.1	Potenzielle Verwendungsmöglichkeiten	36
3.3	PROJEKT ANMELDUNG ZUM UNESCO-WELTERBE	39
3.3.1	Bergpark Wilhelmshöhe mit den Wasserspielen	40
3.3.2	Beteiligte	40
3.3.3	Anforderungen an das Bergparkmodell	41
3.4	INNENSTADTMODELL	42
3.5	EINGESETZTE SOFTWARE	42
3.5.1	ESRI ArcGIS und 9.3	42
3.5.2	3D Analyst 9.3 -ArcScene-	43
3.5.3	Autodesk LandXplorer Studio Professional 2009	44
3.5.4	Adobe Photoshop CS4	45
3.5.5	Google SketchUp 7	46
3.5.6	3D Stadtmodeler	47
3.5.7	Windows Movie Maker	47
3.5.8	FME	48
4	LÖSUNGSANSATZ	50
4.1	ÜBERBLICK	51
4.2	MEILENSTEINE	51
5	VORGEHENSWEISE UND UMSETZUNG	53
5.1	EINLEITUNG	53
5.2	ERSTELLUNG DES GELÄNDEMOMODELLS (DGM)	53
5.2.1	TIN	54
5.2.2	Tingrid	54
5.2.3	Bruchkanten	56
5.3	VISUALISIERUNG DES DGMS	56
5.4	HINZUFÜGEN EINES RASTERLAYERS	57
5.4.1	Optionale Verwendung der Flächenobjekte	58

5.4.2	<i>Historische Bilder</i>	60
5.5	INTEGRATION DER GEBÄUDE	61
5.5.1	<i>Gebäudedatenbank</i>	61
5.6	EXTRUSION DER GEBÄUDE	64
5.7	MODELLIEREN DER DACHFORMEN	65
5.8	HINZUFÜGEN VON TEXTUREN	66
5.8.1	<i>Aufnahmen der Fassaden im Straßenraum</i>	66
5.8.2	<i>Entzerrung und Beschneiden der Aufnahme</i>	68
5.8.3	<i>Retuschieren der Fassade</i>	68
5.8.4	<i>Drapierung der Textur auf das Klötzchen</i>	69
5.9	DARSTELLUNG VON STADTMÖBEL	70
5.9.1	<i>Bäume</i>	71
5.9.2	<i>Verkehrsschilder</i>	72
5.9.3	<i>Litfaßsäulen</i>	72
5.10	LANDMARKEN	73
5.11	ABGABE VON VIDEODATEIEN	77
5.12	ARCHIVIERUNG VON DATEN	78
6	ERGEBNISSE	79
6.1	METHODEN ZUM AUFBAU DES BERGPARKMODELLS	79
6.2	QUALITATIVE ANFORDERUNGEN AN DAS MODELL	80
6.3	DARSTELLUNG DER SICHTACHSEN	81
6.4	KONZEPTION DER DURCHFLÜGE	81
7	KÜNFTIGE PROJEKTE UND AUSBLICK	82
7.1	EINLEITUNG	82
7.1	INTEGRATION VON PUNKTWOLKEN	82
7.1.1	<i>Einladen der Punktwolke in das GIS</i>	83
7.1.2	<i>Mögliche Schnittstellen</i>	84
7.1.3	<i>Weitere Möglichkeiten zur Integration</i>	84
7.2	SOLARKATASTER	84
7.3	HISTORISCHES STADTMODELL	86
7.4	WEITERGABE UND DATENAUSTAUSCH	87
7.4.1	<i>Visualisierung über einen Viewer</i>	87
7.4.2	<i>Intra- und Internetanbindung</i>	88
7.4.3	<i>CityGML</i>	89
7.4.4	<i>3D PDF</i>	89

7.5	WEITERE ENTWICKLUNG UND KÜNFTIGE PROJEKTE.....	89
7.5.1	3D Bäume	89
7.5.2	Dynamische Objekte.....	89
7.5.3	3D Gips- und Holzmodell	90
7.5.4	Visualisierung von Sportstätten.....	91
7.5.5	LaserScanbefliegung des Landes Hessen.....	91
8	ZUSAMMENFASSUNG UND ERKENNTNISSE	92
9	LITERATURVERZEICHNIS.....	94
	ANHANG.....	98

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das historische Stadtmodell von Kassel zeigt das Stadtbild im Jahr 1766; Quelle: eigene Aufnahme des Modells im Stadtmuseum Kassel.....	3
Abbildung 2: Ein zeitgenössisches Modell aus Holz; Quelle: eigene Aufnahme des ausgestellten Modells im Foyer des Kasseler Rathauses	5
Abbildung 3: Darstellung der verschiedenen LoD-Stufen; Quelle: GRÖGER & KOLBE, 2005	8
Abbildung 4: Darstellung eines Digitalen Geländemodells (DGM).....	10
Abbildung 5: Die Modellierung eines Geländereiefs; Quelle: HAKE et al., 2002:345.....	12
Abbildung 6: Bei einer hochauflösenden Aufnahme von drei Zentimetern sind bereits einige Details sichtbar; Quelle: AeroWest GmbH.....	16
Abbildung 7: Ausmodelliertes Gebäude, das auf Grundlage der ALK Grundrisse erstellt wurde; Quelle: eigene Abbildung.....	20
Abbildung 8: Das Prinzip des flugzeuggestützten LaserScannings; Quelle: HAALA, 2005:27	21
Abbildung 9: Schematische Abbildung des Reflektionsverhaltens von Laserimpulsen an Bäumen; Quelle: HAALA, 2005:28.....	22
Abbildung 10: Eine Schrägbildaufnahme, die als Grundlage für Gebäudefassaden dienen kann; Quelle: Stadt Kassel, Vermessung und Geoinformation.....	24
Abbildung 11: Eine Parkbank als Beispiel für eine Stadtmöblierung; Quelle: eigene Aufnahme	26
Abbildung 12: Ein Übersichtsbild der Stadt Kassel mit den Höhenlagen des Habichtswalds (hinten); Quelle: Stadt Kassel, Vermessung und Geoinformation	34
Abbildung 13: Das Geländeprofil vom Habichtswald im Westen hinunter ins Kasseler Becken.	35
Abbildung 14: Schematische Darstellung der Innenstadt bei durchschnittlichem Wasserabfluss der Fulda.....	37
Abbildung 15: Darstellung der Überflutungszonen bei Hochwasser.....	38
Abbildung 16: Abbildung des Bergparks mit Blickrichtung nach Westen zum Herkules (links) und nach Osten zur Stadt (rechts); Quelle: Stadt Kassel, Vermessung und Geoinformation	39
Abbildung 17: Anhand eines Anaglyphenbildes können mit einer Rot-Grün Brille 3D Effekte wahrgenommen werden.	45
Abbildung 18: Der Workflow zum fertigen Modell.	50
Abbildung 19: Das TIN des Kasseler Beckens mit den Höhenschichten zwischen 133 und 616 Metern. Im Westen sind die Erhebungen des Habichtswalds zu erkennen.	54

Abbildung 20: Das TIN des Bergparkmodells, das die unterschiedlichen Höhengschichten darstellt (133–616 Meter).....	55
Abbildung 21: Das TIN des Innenstadtmodells mit den Bruchkanten (dunkelblau) und den Höhenlagen zwischen 136 und 195 Metern.	56
Abbildung 22: Ausschnitt aus dem Bergparkmodell. Im Hintergrund sind die Erhöhungen des Habichtswaldes zu erkennen.	57
Abbildung 23: Das Gelände des Innenstadtmodells mit aufgelegtem Luftbild.	58
Abbildung 24: Ein erster Versuch, um Luftbilder durch vektorisierte Flächenobjekte zu ersetzen (optional).	59
Abbildung 25: Am Weinberg (links unten) lässt sich gut erkennen, dass die historische Luftaufnahme nicht auf das aktuelle Geländemodell passt.	60
Abbildung 26: Schematische Darstellung der Trauf- und Firsthöhe eines Gebäudes; Quelle: Handbuch zur Software 3D Stadtmodeller (IP Syscon)	62
Abbildung 27: Ausschnitt in Richtung Königsplatz. Jeder einzelnen Klötzchenfläche (Wand) kann eine Textur zugeordnet werden.	64
Abbildung 28: Die generierten Gebäudeklötzchen verschwinden teilweise im Gelände (schematische Darstellung); Quelle: Handbuch zur Software 3D Stadtmodeller (IP Syscon)	65
Abbildung 29: Aufnahme der Nordfassade des Herkulesbauwerks zu verschiedenen Jahreszeiten. Die mit Schnee bedeckten Mauern im Winter können nicht als Grundlage für ein 3D Modell dienen; Quelle: Stadt Kassel, Vermessung und Geoinformation.....	67
Abbildung 30: Der Weg zum fertigen Fassadenfoto. Links das aufgenommene Bild. In der Mitte die entzerrte und beschnittene Fassade, die bei Bedarf noch retuschiert werden kann (rechts).	69
Abbildung 31: In dieser Grafik lässt sich erkennen, dass das Erdgeschoss fast vollständig im Modell verschwindet, da das Klötzchen und die darauf drapierte Fassade an der untersten Stelle des Geländes ihren Ursprung haben. In diesem Fall liegt diese auf der gegenüberliegenden Seite des Hauses.	70
Abbildung 32: Für den Aufbau des Katasters für Verkehrszeichen konnten bisher einige Schilder im Modell dargestellt werden.	72
Abbildung 33: Eine Litfaßsäule (Mitte) mit einem Standardbaum (rechts).....	73
Abbildung 34: Das modellierte Schloss Wilhelmshöhe, das als Landmarke in das Stadtmodell integriert wurde.	74
Abbildung 35: Die Martinskirche, die mit SketchUp modelliert wurde und im Innenstadtmodell als Landmarke vorhanden ist.....	76

Abbildung 36: Die Figur des Herkules, die auf einem Oktogon steht (links) und mit einer CAD-Software erstellt wurde (rechts).	76
Abbildung 37: Darstellung einer 3D Punktwolke, die mit Hilfe des TLS-Verfahrens erstellt wurde; Quelle: Stadt Kassel, Vermessung und Geoinformation.....	82
Abbildung 38: Anhand von hochauflösenden Punktwolken können detaillierte Modelle angefertigt werden; Quelle: Stadt Kassel, Vermessung und Geoinformation.....	83
Abbildung 39: In dieser Abbildung ist deutlich zu erkennen, dass die Dachformen nicht auf die Klötzchen passen, sondern größtenteils versetzt darauf schweben.	86
Abbildung 40: Aufnahme des historischen Postgebäudes am Königsplatzes Anfang des 20. Jahrhunderts. Im Vordergrund ist eine Straßenbahn zu sehen, die bereits mit Dampf betrieben wurde; Quelle: Stadtarchiv Kassel	87
Abbildung 41: Anhand des Höhenrasters und der Amtlichen Stadtkarte wurde ein Gipsmodell im Maßstab von ca. 1:23.000 in 5-facher Überhöhung angefertigt; Quelle: eigene Aufnahme	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich zwischen physischem und virtuellem Stadtmodell.....	6
Tabelle 2: Beschreibung der unterschiedlichen Modellbegriffe.....	11
Tabelle 3: Darstellung und Speicherverbrauch unterschiedlicher Rasterweiten von Tingrids. Das Tingrid von Darmstadt wurde im Rahmen eines Dienstleistungsauftrages ebenfalls berechnet.	55
Tabelle 4: Darstellung der unterschiedlichen Flächenarten, die vektorisiert vorliegen.	58
Tabelle 5: Übersicht der verschiedenen Dachtypen	63
Tabelle 6: Darstellung der vorgemerkten Landmarken. (Stand September 2010)	75

Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
3DS	Dateiformat von Autodesk 3ds Max
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AfB	Amt für Bodenordnung
ALB	Automatisiertes Liegenschaftsbuch
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
AVI	Audio Video Interleave
CAD	Computer Aided Design
CityGML	City Geography Markup Language
CNC	Computerized Numerical Control
COLLADA	Collaborative Design Activity
DEM	digital elevation model
DGM	Digitales Geländemodell
DHM	Digitales Höhenmodell
DOM	Digitales Oberflächenmodell
DOP	Digitales Orthophoto
DSM	digital surface model
DTM	digital terrain modell
dpi	dots per inch
DXF	Drawing Interchange Format
ECW	Enhanced Compressed Wavelet
EDBS	Einheitliche Datenbankschnittstelle
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
FME	Feature Manipulation Engine
GDI	Geodateninfrastruktur
GeoTIFF	Geo Tagged Image File Format
GeoVRML	Geo Virtual Reality Modelling Language
GIS	Geoinformationssystem

GML	Geography Markup Language
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sample Distance
HLBG	Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation
HMWK	Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst
HTML	Hypertext Markup Language
JPEG	Joint Photographic Experts Group
KB	Kilobyte
KEB	Kasseler Entwässerungsbetrieb
KML	Keyhole Markup Language
KMZ	KML im Format ZIP
LGL	Landesamt für Geoinformation und Landesentwicklung
LIDAR	Light Detaction and Ranging
LoD	Level of Detail
MB	Megabyte
MDB	Microsoft Access Database
MHK	Museumslandschaft Hessen Kassel
MPEG	Moving Pictures Experts Group
MrSID	Multi Resolution Seamless Image Database
NAS	Normbasierte Austauschschnittstelle
NHN	Normalhöhennull
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OGC	Open Geospatial Consortium
PDF	Potable Document Format
PSD	Photoshop Document
RP	Regierungspräsidium
SDE	Spatial Data Engine
SHP	Dateiendung von Shapefiles
SIG 3D	Special Interest Group 3D
SQL	Structured Query Language
TIF / TIFF	Tagged Image File Format
TIN	Triangulated Irregular Network
TLS	Terrestrisches LaserScanning
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

U3D	Universal 3D
UTM	Universal Transverse Mercator
VGH	Verwaltungsgerichtshof
VRML	Virtual Reality Modelling Language
WMA	Windows Media Audio
WAV	Dateiendung einer Wave-Datei
WMV	Windows Media Video
X3D	Extensible 3D
XML	Extensible Markup Language
ZRK	Zweckverband Raum Kassel

1 Einführung

1.1 Motivation

Die beeindruckende Welt der dreidimensionalen Visualisierung ist zu einem Bestandteil unserer geographischen Informationssysteme geworden. In der Zukunft wird die Funktionalität zur Übernahme der neuen 3D Daten in das bisherige GIS ein wichtiger Bestandteil dieser Systeme sein. Gerade im Bereich der virtuellen 3D Stadtmodelle kollidieren 2D und 3D Daten bereits miteinander. Die Interoperabilität von Geodaten zueinander und die Darstellung innerhalb eines Stadtmodells wird deswegen eine der Hauptaufgaben von 3D Visualisierungssystemen sein.

Für das Projekt der UNESCO-Anmeldung wird ein Schwerpunkt der Arbeiten im Bereich der Visualisierungen liegen. Daher wird im Rahmen der Thesis eingangs ein sogenanntes Lod2 Modell (LoD = Level of Detail) erstellt, das ein texturiertes Geländemodell mit Gebäuden und den dazugehörigen Dachtypen abbildet und abschnittsweise mit individuellen Fassadenfotos aufwertet. Mit dieser Methode können bereits ca. 90% der Gebäudeobjekte im gesamten Stadtgebiet automatisiert dargestellt werden. Im Anschluss daran werden weitere Gebäudemodelle von ausgewählten Bauwerken in das Modell integriert, die eine sehr hohe Detailschärfe besitzen. Inwiefern dies möglich ist und mit welchen Schnittstellen die Daten eingebunden werden können, wird als weitere Fragestellung innerhalb dieser Thesis zu beantworten sein. Abschließend werden virtuelle Rundflüge für eine Vorprüfung im September 2010 konzipiert und als Videodateien abgespeichert.

1.2 Zielsetzung und Aufgabenstellung

Für dieses Projekt wurden folgende Verfahrensweisen konzipiert, die im Rahmen dieser Thesis erläutert werden:

- Herausarbeitung der Sichtachsen
- Erstellung eines Geländemodells
- Modellierung von Gebäuden
- Erzeugung von Videodateien

Daraus ergeben sich folgende Fragen, die beantwortet werden sollen.

- Mit welchen Methoden kann ein 3D Stadtmodell bezogen auf die Ansprüche der UNESCO-Anmeldung aufgebaut werden?
- Welche qualitativen Anforderungen können mit den vorhandenen Grundlagendaten in Bezug auf das Bergparkmodell erreicht werden?
- Wie können die Sichtachsen des Bergparkmodells anschaulich dargestellt und präsentiert werden?
- Wie sollen die Durchflüge durch das Modell konzipiert werden, um den Bergpark optimal zu präsentieren?

1.3 Gliederung der Arbeit

Nach einer ausführlichen theoretischen Betrachtung der verschiedenen Komponenten, die für den Aufbau und der Datenweitergabe von 3D Stadtmodellen benötigt werden, wird die Ausgangssituation und die vorhandenen Rahmenbedingungen in Kapitel 3 erläutert, die für einen erfolgreichen Projektstart notwendig waren. Kapitel 4 beschäftigt sich mit dem entsprechenden Lösungsansatz und verweist auf die Umsetzung, die im darauffolgenden Kapitel beschrieben wird. Dabei wird vor allem die Frage beantwortet, mit welchen Methoden das 3D Stadtmodell aufgebaut wird. Die Analyse der Ergebnisse ist in Kapitel 6 aufgelistet. Dabei werden Schlussfolgerungen über die erreichten Ziele von Kapitel 5 gegeben. Ein Ausblick über die künftige Weiterentwicklung des 3D Modells ist in Kapitel 7 zusammengefasst. Besonders die Frage, inwieweit Terrestrische LaserScanning Daten (TLS) künftig in ein Stadtmodell integriert werden können, ist Bestandteil dieses Kapitels. Abschließend werden in Kapitel 8 die erreichten Erkenntnisse in der Zusammenfassung beschrieben.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Grundlagen



Abbildung 1: Das historische Stadtmodell von Kassel zeigt das Stadtbild im Jahr 1766; Quelle: eigene Aufnahme des Modells im Stadtmuseum Kassel.

„Öffentliche Räume verändern (...) zunehmend ihren Gestaltcharakter, weil Gestaltqualitäten permanent manipulierbar sind und sich ständig verändern können“ (STREICH, 2005:344). Eine gute Möglichkeit, um diese Veränderungen visuell darstellen und präsentieren zu können sind dreidimensionale Stadtmodelle. Stadtmodelle sind im Allgemeinen wirklichkeitsnahe Darstellungen der Erdoberfläche und weiterer Objekte innerhalb städtischer Gebiete. Dabei spielt die Frage, ob es sich um ein virtuelles oder um ein physisch anfassbares Modell handelt zunächst eine untergeordnete Rolle. Sie haben gegenüber Karten oder Plänen, die häufig abstrakt wirken und oftmals nur von Fachpersonal gelesen werden können, den Vorteil, dass sie die Stadt anschaulich abbilden können. Daher sollen Stadtmodelle das Stadtbild möglichst genau wiedergeben, um hiermit wichtige Planungsgrundlagen für künftige Stadtentwicklungsprozesse bereitzustellen.

Grundsätzlich ist die durch Stadtplanung beeinflusste Stadtentwicklung ein politisch und gesellschaftsorientiertes Handlungsfeld, das im öffentlichen Interesse aller Bewohner steht (vgl. LUSER & LORBER, 1997). Vor allem bei einer Einbindung von

Bürgern in städtische Projekte kann hiermit der vorhandene 3D Raum auf einfache Weise verständlich abgebildet werden. Während Ende des letzten Jahrhunderts Modelle aus Holz und Gips angefertigt wurden, die in vielen Rathäusern und Museen zu Repräsentationszwecken ausgestellt sind (*siehe Abbildung 1*), werden seit Anfang dieses Jahrhunderts vermehrt Modelle auf virtueller Basis erstellt.

Dabei werden als Grundlagendaten beispielsweise Umrisslinien der Gebäude aus Katasterkarten, Versorgungslinien, Straßen, ÖPNV-Linien, Digitalen Höhen- (DHM) und Geländemodellen (DGM) oder Landnutzungs- und Entwicklungsplänen aus einem GIS- oder CAD-System genommen und mit einer Visualisierungssoftware erstellt (vgl. TIEDE & BLASCHKE, 2005). Optional werden Stadtmodelle auch immer häufiger aus Daten von LaserScan-Befliegungen (LIDAR-Daten) oder anderer photogrammetrischer Verfahren erstellt.

2.1.1 Physische Modelle

Physisch anfassbare Modelle haben den Vorteil, dass sie nicht zu abstrakt wirken, sondern für jeden sicht- und anfassbar sind. Sie besitzen einen festdefinierten Maßstab und haben ihren Ursprung größtenteils in der Stadtplanung oder im Architekturbereich. In der Vergangenheit wurden viele Modelle erstellt, um auch nichtprofessionellen Nutzern einen Eindruck der realen Welt oder von künftigen Ausbau- und Infrastrukturprojekten zu bieten (*siehe Abbildung 2*). Der Nachteil hingegen war der hohe Kostenaufwand, der für jedes einzelnes Projekt zu leisten war. Hinzu kamen die fehlenden Änderungsmöglichkeiten bei einer Abweichung der Ursprungsplanung. Neben Holzmodellen wurden physische Stadtmodelle häufig aus Gips- oder Karton hergestellt. Vereinzelt bestehen diese auch aus verschiedenen Kunststoffarten. Durch die Möglichkeit der virtuellen Erstellung von 3D Stadtmodellen ist die Anfertigung von neuartigen Modellen stark zurückgegangen. Nur vereinzelt werden diese noch im Rahmen von größeren Projekten angefertigt. Dabei besitzen die meisten analogen Modelle inzwischen eine digitale Grundlagenbasis.



Abbildung 2: Ein zeitgenössisches Modell aus Holz; Quelle: eigene Aufnahme des ausgestellten Modells im Foyer des Kasseler Rathauses

2.1.2 Vorteile und Anwendungen eines virtuellen Stadtmodells

Durch die immer weiter fortschreitenden Anwendungsmöglichkeiten von digitalen Visualisierungssystemen werden zunehmend auch fotorealistische Darstellungen von Planungen in der dritten Dimension möglich. Dabei besitzt ein virtuelles 3D Stadtmodell gegenüber einem herkömmlichen den Vorteil, dass die Grundlagendaten aus der Bestandserfassung direkt eingebunden und umgesetzt werden können. Weiterhin können Änderungen von ursprünglichen Bauvorhaben schneller verarbeitet oder verschiedene Varianten von Planungsprozessen interaktiv dargestellt und vorgeführt werden. Stadtplaner können daher erkennen, ob sich ein Objekt in die Umgebung einfügt oder nicht (vgl. GALLER, 2002).

Einen Vergleich zwischen einem physischen und virtuellen Stadtmodell ist in *Tabelle 1* dargestellt.

Tabelle 1: Vergleich zwischen physischem und virtuellem Stadtmodell.

physisches Stadtmodell	virtuelles Stadtmodell
Physisches Abbild	Repräsentation am Computer
Zeichnung / Plan /Karte (zweidimensional)	Visualisierung mittels 2D und 3D Computergraphik
Miniaturmodell (dreidimensional)	Zunehmend ist das virtuelle Stadtmodell das Primärmodell • Physische Modelle können vollautomatisch daraus (nach Bedarf) hergestellt werden
In der Vergangenheit grundsätzlich Primärmodell • Heute: zunehmend Sekundärmodell	Besonders populär geworden durch Google Earth und Microsoft Virtual Earth (Bing)

Quelle: Nach KOLBE, 2008 - Einführung in CityGML

Mit der Frage einer virtuellen Repräsentation durch ein digitales 3D Stadtmodell beschäftigen sich zunehmend auch viele Kommunen mittlerer und kleinerer Größe, da die Kosten zur Erstellung von 3D Modellen in den letzten Jahren stark gesunken sind. Aus diesem Grund konnten bereits viele Städte und Gemeinden 3D Modelle auch in ihre eigenen Geodateninfrastrukturen mit einbinden (vgl. ROSS et al., 2009). Die technische Umsetzung von 3D Projekten findet eher im Bereich der Verwaltungen von Großstädten statt, da diese den enormen Personalbedarf weitgehend decken können. Jedoch ist es auch in manchen Großstadtverwaltungen aufgrund der Altersstruktur und Personalabbau schwierig sich eines innovativen Projekts wie einem 3D Stadtmodell anzunehmen. Kleinere Städte und Gemeinden hingegen versuchen durch die Vergabe von Aufträgen an externe Dienstleister ein virtuelles 3D Stadtmodell aufzubauen. Der Vor- und Nachteil an dieser Methode besteht darin, dass zwar ein visuell perfektes Modell zu Repräsentationszwecken geliefert wird, sich dieses oftmals nicht in die vorhandene Geodateninfrastruktur der Kommune integrieren lässt. Um ein virtuelles 3D Stadtmodell zu erstellen, sollte daher ein entsprechendes konzeptionelles Datenmodell

zugrunde liegen, das "eine verbreitete Vorgehensweise im Umgang mit dreidimensionalen raumbezogenen Daten, die kombinierte Anwendung von 2D GIS, CAD- und Visualisierungssystemen" ermöglicht (COORS & ZIPF, 2004). Demzufolge sollten bereits in der Vorprojektphase klare Zielsetzungen und Anforderungen gesetzt werden, da nur in Verbindung mit weiteren kommunalen Geodaten ein digitales Stadtmodell von Bedeutung sein wird. Aus diesem Grund liegt der Fokus nicht nur auf einer detailgetreuen Spiegelung des Stadtbildes, sondern das Stadtmodell auch als Grundlage für Planungen und Dispositionen zu verwenden. Mögliche Anwendungen liegen daher im Bereich der kommunalen Bauleitplanung und dem Städtebau, wie beispielsweise der Integration von Modellen durch städtebauliche Ideenwettbewerbe, Neuplanungen oder der planungsrechtlichen Visualisierung innerstädtischer Umgebungsbebauung. Aber auch im Bereich des Denkmalschutzes oder zur Darstellung der Funknetzplanung werden dreidimensionale Stadtmodelle zu Hilfe gezogen. Darüber hinaus ist eine bessere Einbeziehung der Bürger zu erwarten, da zweifelsfrei ein 3D Modell bei der Betrachtung auf weniger Verständnishürden trifft, als ein konventioneller Bebauungsplan.

Weitere Anwendungen liegen ebenfalls im Umweltbereich vor. Hier sind vor allem 3D Modelle für den Hochwasserschutz zu benennen, die auf Grundlage von Hochwassergefahrenkarten für den Katastrophenschutz modelliert wurden. Aber auch Lärmausbreitungs- und Klimaschutzkartierungen können dreidimensional abgebildet werden. Weitere Aspekte liegen bei der Energieeinsparung durch die Aufführung des Wärmeverbrauchs von Häusern oder der Abbildung von potenziellen Solarthermie- oder Photovoltaikstandorten auf Dachflächen. Für die Wirtschaftsförderung bietet ein 3D Stadtmodell zusätzliches Potential. Hier sind vor allem die Möglichkeiten zur Vermarktung von künftigen oder bereits bestehenden Gewerbe- und Industriegebieten oder der Bereich Tourismus zu erwähnen. Gerade für die Tourismusförderung ist ein gut ausmodelliertes Stadtmodell notwendig, das vor allem die Wahrzeichen und Sehenswürdigkeiten einer Stadt realitätsnahe darstellt. Jedoch binden komplexe 3D Stadtmodelle viele Ressourcen in Form von Entwicklungskosten und Personaleinsatz. Daher ist eine kurzfristige Refinanzierung dieses Projekts nicht zu erwarten und sollte vielmehr als eine langfristige Investition angesehen werden.

2.1.3 Level of Detail (LoD)

Ein Stadtmodell kann in Detailierungsstufen, sogenannten Level of Detail (LoD) klassifiziert werden. In der Literatur werden diese Modelle in 5 Klassen eingeteilt. Die Übergänge sind jedoch fließend, da keine eindeutigen Definitionen zu den Abgrenzungen der Klassen vorhanden sind. In *Abbildung 3* werden die einzelnen LoD-Stufen durch Bildbeispiele verdeutlicht.

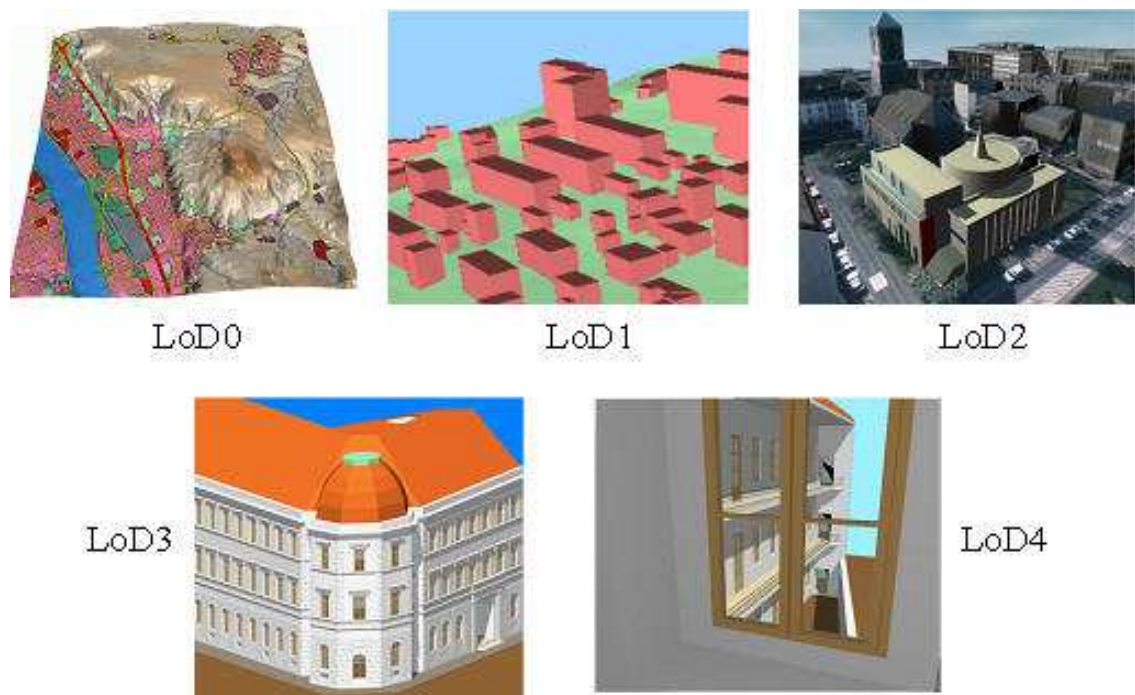


Abbildung 3: Darstellung der verschiedenen LoD-Stufen; Quelle: GRÖGER & KOLBE, 2005

LoD0: Ein LoD0 Modell ist ein einfaches Geländemodell, das mit Raster- oder Vektordaten überlagert sein kann. Dieses Modell besitzt noch keine Gebäude oder andere Objekte. Lediglich die Topographie ist hier zu erkennen.

LoD1: Das LoD1 Modell ist das typische Klötzchenmodell. Die Gebäude werden texturlos als rechtwinklige Quader in das Modell eingeladen. Für gewöhnlich ist diese LoD-Stufe schnell erstellt und kann bereits für einfache Planungen oder Analysen verwendet werden.

LoD2: Eines der Ziele dieser Thesis ist die Erstellung eines flächendeckenden LoD2 Modells. In dieser Detailierungsstufe werden einfache Gebäude bereits mit Dachformen dargestellt. Die Wände der Klötzchen können bereits mit ersten Texturen versehen sein.

LoD3: Das LoD3 Modell besteht mehrheitlich aus voll ausmodellierten Gebäuden, die individuell an das reale Erscheinungsbild angepasst wurden. Im Rahmen dieses Projekts ist es angedacht, einige besondere Gebäude in dieser Genauigkeitsstufe darzustellen (Landmarken).

LoD4: Ein LoD4 Modell (Innenraummodell) kann virtuell betreten werden. Das bedeutet, dass der Betrachter in der Lage ist, von einem spezifischen Punkt innerhalb des Gebäudes nach „draußen“ zu schauen. Für Planungen und Sichtbarkeitsanalysen ist dieses Modell ideal geeignet. Nach dem derzeitigen Stand des Projekts, kann diese Genauigkeitsstufe vorerst nicht verwirklicht werden.

2.2 Digitales Geländemodell (DGM)

Ein digitales Geländemodell (DGM) (engl. Digital Terrain Model (DTM)) ist die kontinuierliche Darstellung der Erdoberfläche, die aus diskreten Messungen resultiert. „Als Gelände oder Relief gilt die Grenzfläche zwischen fester Erde (Lithosphäre) und Luft (Atmosphäre) bzw. Wasser (Hydrosphäre) als Gesamtheit der räumlichen, d.h. dreidimensionalen Oberflächenform“ (HAKE et al., 2002:426). Historisch gesehen wurden Geländemodelle hauptsächlich im kartographischen Bereich eingesetzt, um anhand generalisierter Höhenlinien Reliefkarten herzustellen und dem Betrachter anhand dieser Methode einen Eindruck der vertikalen Dimension zu vermitteln. Inzwischen werden DGMs auch in vielen anderen Bereichen der Geowissenschaften eingesetzt und bilden darüber hinaus die Ausgangsbasis für virtuelle 3D Umgebungen.

Die Grundlage für DGMs bilden Digitale Höhenmodelle (DHM) (engl. Digital Elevation Models (DEM)), die weitestgehend in Form von Höhenpunkten vorliegen. Mit Hilfe moderner Auswerteverfahren können gleichmäßig verteilte Höhenrasterpunkte erzeugt werden. Die Bereiche zwischen den Rasterpunkten werden bei der Erzeugung des DGMs interpoliert. Daher lässt sich ableiten, dass je dichter das Punktraster erstellt wurde, desto detaillierter auch das darauf aufbauende Geländemodell erzeugt werden kann. Jedoch ist die Qualität eines DGMs nicht nur von

der Dichte und Verteilung des Rasters abhängig, sondern ebenfalls von der geometrischen Genauigkeit, der Qualität der Erfassung der geomorphologischen Merkmale des Geländes sowie der verwendeten Interpolationsmethode (vgl. RICHTER, 2007). Darüber hinaus können zusätzliche Angaben, wie markante Höhenpunkte oder Geländekanten (Bruchkanten) dem DGM hinzugefügt werden, um das Geländemodell weiter zu verbessern (*siehe Abbildung 4*).

Eine weitere Methode zur Erstellung eines DGMs ist die Generierung durch Isolinien (Höhenlinien). Im Allgemeinen erreicht dieser Weg jedoch nicht die Qualität eines entsprechenden Punktrasters, da die Höheninformationen des DHMs ungleichmäßig verteilt und daher unstetig bei der DGM-Erzeugung sind. Auch in diesem Fall werden bei der Erstellung des Geländemodells Interpolationen der Flächen zwischen den einzelnen Höhenlinien durchgeführt. Je kleiner die Staffelung der Isolinien daher ist, umso detaillierter ist auch das daraus resultierende Geländemodell.

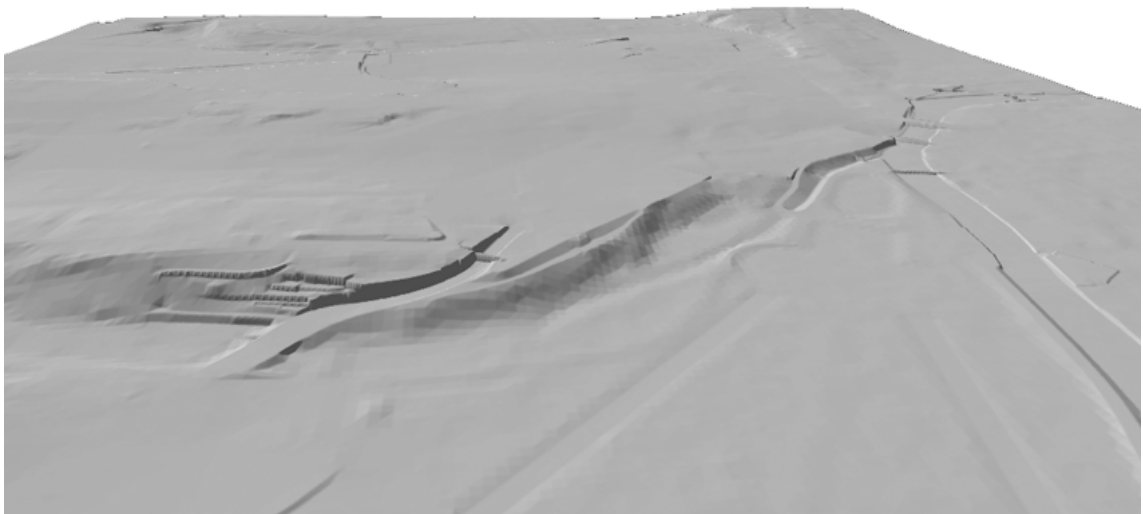


Abbildung 4: Darstellung eines Digitalen Geländemodells (DGM).

2.2.1 Auswertemethoden

Ursprünglich wurden Geländemodelle mit Hilfe von Höhenangaben der terrestrischen Landmessung erstellt. Diese Methode wurde jedoch weitestgehend durch eine photogrammetrische Datenerfassung und durch Techniken der Fernerkundung ersetzt. Für die photogrammetrische Erfassung von qualitativ hochwertigen 3D Stadtmodellen

sind vor allem das LaserScanning-Verfahren und die stereoskopische Auswertemethode zu erwähnen.

Beim LaserScanning wird die Erdoberfläche mit Hilfe eines Laserstrahls erfasst. Um eine flächendeckende Aufnahme zu ermöglichen, wird das Gelände zumeist flugzeugunterstützt abgetastet. Dabei werden Laserimpulse des Scanners ausgesendet, die von den Objekten auf der Erdoberfläche reflektiert und zurückgesendet werden. Anhand der Laufzeit des Laserstrahls kann nun der Abstand zum jeweiligen Objekt berechnet werden. Zu beachten ist hierbei, dass mit Hilfe des LaserScanning-Verfahrens kein DGM sondern ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) (engl. Digital Surface Model (DSM)) erstellt wird. Ein DOM bildet, im Gegensatz zum DGM, die eigentliche sichtbare Objektoberfläche ab. Diese beinhaltet, neben der zugrunde liegenden Erdoberfläche, auch sämtliche Kunstbauten oder topographische Elemente, wie Brücken, Gebäude oder Bäume (*siehe Tabelle 2*).

Eine schematische Auflistung zur Erstellung von Geländeoberflächen ist in *Abbildung 5* zusammengetragen. Mehr Informationen zum Thema LaserScanning in Verbindung mit der Gebäudemodellierung sind im *Kapitel 2.4.2* zusammengefasst.

Tabelle 2: Beschreibung der unterschiedlichen Modellbegriffe

Begriff (deutsch)	Begriff (englisch)	Erklärung
DHM (Digitales Höhenmodell)	DEM (digital elevation model)	Allgemeiner Begriff, um Modelle mit Höhenangaben (Z-Werte) zu beschreiben.
DGM (Digitales Geländemodell)	DTM (digital terrain model)	Das DGM stellt nur das Gelände ohne weitere Objekte wie Gebäude, Brücken oder Bäume dar.
DOM (Digitales Oberflächenmodell)	DSM (digital surface model)	Das DOM bildet die sichtbare Oberfläche inklusive Gebäude, Brücken oder Bäume ab.

Quelle:

http://www.kkva.ch/de/downloads/richtlinien/photogrammetrie/qs_photogrammetrie.pdf

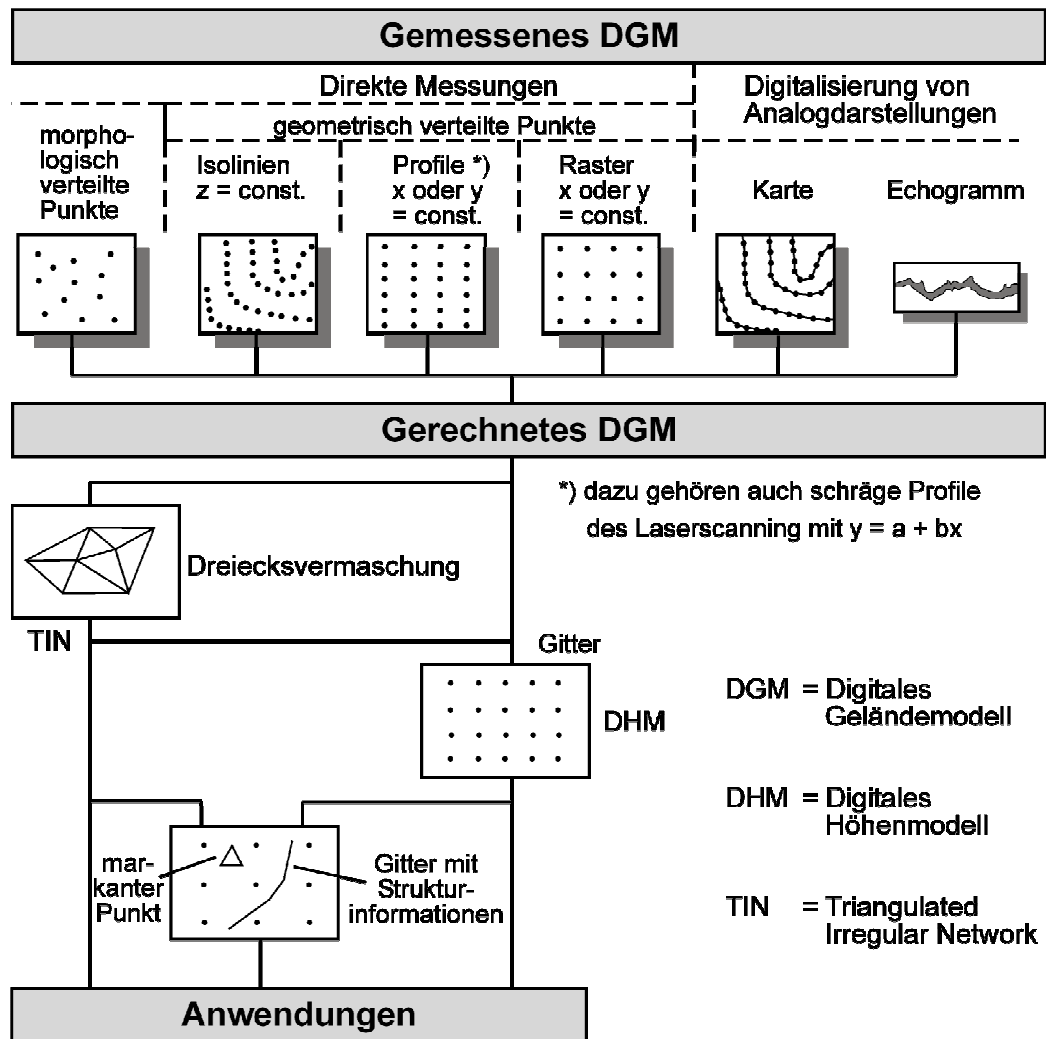


Abbildung 5: Die Modellierung eines Geländereiefs; Quelle: HAKE et al., 2002:345

Voraussetzung für eine stereoskopische Auswertung sind Stereobildpaare des entsprechenden Gebiets. Stereobildpaare sind zwei sich teilweise überlappende zweidimensionale Bilder, die unter verschiedenen Blickwinkeln aufgenommen wurden und aus denen Höheninformationen abgeleitet werden können. Die Genauigkeit des daraus resultierenden DGMs ergibt sich aus der Qualität der Aufnahme (z.B. Wolkenbedeckung, Dunst, Textur), des Auflösungsvermögens (Pixeldichte des Fotos), vom Relief und der Landnutzung (Vegetation und Bebauung) sowie von der Exaktheit der Inneren und Äußeren Bildorientierung. Nach KRAUS, 2004 ist die Qualität einer photogrammetrischen Auswertung σ_H abhängig von der Flughöhe über Grund h , der Kammerkonstante c und der Geländeneigung α , die sich anhand folgender Formel berechnen lässt.

$$\sigma_H = \pm \left(0.15\% \text{ von } h + \frac{0.15}{c} h \cdot \tan \alpha \right)$$

Die Methode ist im Vergleich zum LaserScanning-Verfahren zwar etwas aufwendiger, da diese hohe Ansprüche an die Hard- und Software sowie an erfahrenem Personal erfordert. Jedoch liegt das Ergebnis meist qualitativ über dem des LaserScanning-Verfahrens, da ein angemessener Detailgrad im Vergleich zur stereoskopischen Erfassung nicht erreicht werden kann. (vgl. NEUMANN et al., 2008)

2.2.2 TIN

Generell wird bei der Erstellung eines Geländemodells zwischen einem Raster- und einem Vektormodell unterschieden. Bei einem Rastermodell wird das Gelände durch Zuordnung gleichmäßig verteilter Rasterzellen oder durch Pixel, denen als Grauwert ein bestimmter Höhenwert zugewiesen ist, definiert. Das Vektormodell hingegen basiert auf den diskreten Elementen von Punkten, Linien und Flächen. Ein charakteristisches Vektormodell ist das „Triangulated Irregular Network“ (TIN), das mit dem deutschen Begriff der „unregelmäßigen Dreiecksvermaschung“ übersetzt werden kann. Das TIN besitzt eine topologische Datenstruktur, dessen Datenformat je nach eingesetzter Software unterschiedlich strukturiert sein kann. Daher besteht ein TIN, das beispielsweise mit Hilfe des 3D Analyst der Firma ESRI erzeugt wurde, aus 13 unterschiedlichen Dateien, die im Binärformat als ADF-Dateien vorliegen (vgl. FREIWALD & JANY, 2005).

Die Erzeugung eines TINs basiert auf einer Triangulation, die aus gegebenen Punkten oder ganzen 3D Punktwolken bestehen kann. Die Triangulation der Massepunkte findet jedoch erst statt, nachdem geeignete Punkte ausgewählt wurden (vgl. SCHILLING & ZIPF, 2003). Dabei nimmt mit Anzahl der vorhandenen Punkte auch die Anzahl der daraus resultierenden Dreiecke deutlich zu. Um eine maximale Anzahl an sich nicht überschneidenden Dreiecken zu erzeugen, müssen bei einem Triangulationsalgorithmus gewisse Voraussetzungen erfüllt sein. Ein wichtiges Kriterium ist hierbei die Delauny-Triangulation, bei der alle Dreiecke die sogenannte Umkreisbedingung erfüllen müssen. Diese besagt, dass keine weiteren Punkte des Netzes innerhalb des Umkreises des Dreiecks vorhanden sein dürfen. Mit Hilfe dieses Kriteriums werden kleine Winkel bei

der Dreiecksvermaschung möglichst vermieden, um Rundungsfehler zu minimieren. Nach BARTELME, 2005 findet die eigentliche Triangulation in der Ebene statt. Dies hat zur Folge, dass auch Punkte mit dem gleichen Höhenwert vermascht werden und sogenannte Horizontaldreiecke entstehen, die als kritische Flächen bezeichnet werden.

Eine TIN-Oberfläche besteht aus einer zusammenhängenden Fläche von linear interpolierten Dreiecken. Dabei kann jeder Höhenwert an einer beliebigen Stelle interpoliert und daraus folgend berechnet werden. Mit dieser Methode ist es möglich, neben dem Höhenwert, auch Eigenschaften wie die Hangneigung, den Flächeninhalt des Dreiecks und die Hangausrichtung zu bestimmen. Weitere Vorteile eines TINs sind die Möglichkeiten einer Erzeugung aus Punkt-, Linien- und Flächendaten und der Einsatz von unterschiedlichen Analysefunktionen, mit denen beispielsweise zur Visualisierung von Höhenwerten, jeder Höhenklasse ein unterschiedlicher Farbton zugeordnet werden kann. Mit Hilfe der Informationen über die Hangneigung besteht weiterhin die Möglichkeit den Oberflächenabfluss eines Gebietes zu bestimmen. Die Nachteile eines TINs resultieren hauptsächlich aus dem beträchtlichen Speicherbedarf, der bei vielen Punkten deutlich ansteigt, und der Erzeugung der oben erwähnten Horizontaldreiecke. Auch bei der Visualisierung ist eine kantige Geländedarstellung in Dreiecksstruktur zu erkennen.

2.2.3 Bruchkanten

Eine Bruchkante ist eine „Unterbrechung des kontinuierlichen Verlaufs einer Oberfläche z.B. durch eine Geländekante, eine tektonische Strukturfläche oder eine Kammlinie. Künstliche, i.d.R. vom Menschen geschaffene Objektstrukturen führen zu sogenannten harten Bruchkanten, wohingegen natürliche Gegebenheiten eher als Strukturlinien (Tal- und Gratlinien z.B.) bezeichnet werden“ (GEOINFORMATIK-SERVICE, 2008). Eine sehr ausgeprägte Form der Bruchkante ist die Abbruchkante, die in Form von Brücken oder Gebäuden vorhanden ist. Aber auch Steinbrüche können markante Abschlüsse im freien Gelände darstellen.

Schon bei der Datenerfassung mit Hilfe terrestrischer oder photogrammetrischer Vermessungen müssen Bruchkanten mit aufgenommen werden, um diese in ein DGM überführen zu können. Entfällt der zusätzliche Aufwand, ist es im Nachhinein schwer eine Bruchkante anhand der aufgenommenen Punkte zu rekonstruieren. Daher sind

Bruchkanten für ein Geländemodell besonders wichtig, da sie die Erdoberfläche detailgetreuer repräsentieren und widerspiegeln können. In kartographischen Werken werden Höheninformationen oftmals in Form von Isolinien (Höhenlinien) wiedergegeben. Bei Bruchkanten liegen diese Linien folglich nahezu übereinander und müssen bei Bedarf generalisiert werden.

2.3 Luftbilder und Orthophotos

Luftbilder werden im Rahmen von Bildflügen zu einem zufällig bestimmten Zeitpunkt aufgenommen und geben eine Momentaufnahme des Landschaftszustandes wieder. Meist werden diese in den Frühlingsmonaten durchgeführt, wenn der Schnee nicht mehr die Erdoberfläche bedeckt und die Vegetation noch nicht in Blüte steht. Während eines Bildflugs entstehen allerdings Verzerrungen, die durch Höhenunterschiede im Gelände oder durch eine Verzerrung der Zentralprojektion im Luftbild zustande kommen. Eine Senkrechtaufnahme weist daher in der Bildmitte eine geringere Verzerrung auf, als der vom Projektionszentrum weiter entfernte Bereich. Die Verzerrungen an den Bildrändern können jedoch durch eine höhere Flughöhe verkleinert werden. Dies geht allerdings zu Lasten der Auflösung der Aufnahme. Um ein verzerrungsfreies Bild zu erhalten, müssen die Aufnahmen zuerst georeferenziert und später mit einem Verfahren der digitalen Bildbearbeitung entzerrt werden. Die dabei entstehenden Digitalen Orthophotos (DOPs) erhalten über die gesamte Bildfläche einen einheitlichen Maßstab und haben folglich die geometrischen Eigenschaften einer Luftbildkarte. Im Allgemeinen sind Orthophotos fotobasiert, pixelbasiert und geocodiert und haben in der gesamten Bildfläche einen einheitlichen Raumbezug. DOPs liegen im Allgemeinen in einem TIFF-Rasterformat vor. Darüber hinaus werden diese häufig als bereits georeferenziertes TIFF (GeoTIFF) oder in den Formaten ECW beziehungsweise MrSID abgegeben.

Ein Vorteil gegenüber herkömmlichem Kartenmaterial ist die Tatsache, dass Orthophotos nicht generalisiert sind, und damit eine Vergleichbarkeit gegenüber anderen geographischen Fachdaten vorhanden ist. Meist besitzen sie auch eine höhere Aktualität, da Bildflüge in heutiger Zeit durch weiter sinkende Kosten pro Bildflug im Schnitt häufiger und mit einer besseren Auflösung durchgeführt werden können. Daher besteht bereits die Möglichkeit Orthophotos mit einer Pixelweite von bis drei

Zentimetern zu erzeugen, die eine hochauflösende und farbig gestochene scharfe Aufnahme garantieren (*siehe Abbildung 6*). Aufgrund dieser hochauflösenden Bilder können jedoch datenschutzrechtliche Bedenken auftreten. Infolgedessen gibt es bereits Gerichtsurteile, die sich nicht nur auf das Recht auf Achtung der Privatsphäre bei Personen, sondern auch auf den räumlich-gegenständlichen Bereich einer Person beziehen (vgl. DIEZ et al., 2009). Weitere Angaben zum Thema Datenschutz sind im *Kapitel 2.5.3* zusammengefasst.

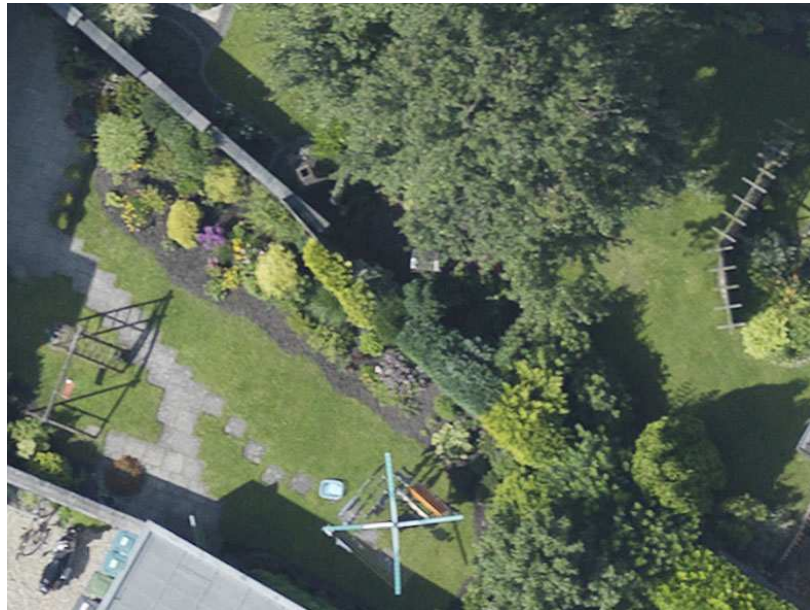


Abbildung 6: Bei einer hochauflösenden Aufnahme von drei Zentimetern sind bereits einige Details sichtbar; Quelle: AeroWest GmbH

Neben Rasterdaten können auch Vektordaten zur bildhaften Darstellung der Erdoberfläche eingesetzt werden. Sie besitzen gegenüber Luftbildern die Eigenschaft einer geringeren Dateigröße. Daher können sie auch bei großflächigen Modellierungen performant verarbeitet werden. Vektordaten haben den Vorteil, dass sie störende Objekte wie Automobile, Haltestellen oder Bäume, die im Luftbild mit aufgenommen und nur zweidimensional dargestellt werden, nicht abbilden. Weiterhin kann mit dieser Methode auch das Thema Datenschutz weitestgehend umgegangen werden. Jedoch müssen Vektordaten hochpräzise sein, so dass sie einen vergleichbaren Eindruck der virtuellen Realität vermitteln können.

2.4 Gebäudemodellierung

Gebäudemodelle sind wichtige Bestandteile von 3D Stadtmodellen, die mit unterschiedlichen Methoden und Verfahren erstellt werden können. Nach GÜLCH, 2005 gibt es im Allgemeinen sechs Objekt-Erfassungsmethoden, die im Folgenden aufgelistet sind.

1. Geodätische Erfassung mittels Tachymetern und/oder GPS
 - Mit der Geodätischen Auswertemethode können die genauesten Ergebnisse erzielt werden und dient vor allem der Grundrisserfassung. Jedoch erfordert dieses Verfahren einen hohen Arbeitsaufwand und ist für eine flächendeckende 3D Objekterfassung eher nicht geeignet. Darüber hinaus können Dachflächen nur schwer aufgenommen werden.
2. Extraktion von Objekten mittels klassischer Stereophotogrammetrie in analogen oder digitalen Messbildern, aus Flugzeugaufnahmen oder hochauflösenden Satellitenbildern
 - Mit Hilfe der stereoskopischen Auswertung können je nach Auflösung der Bilddaten gute Ergebnisse erzielt werden. Zwar ist die Flächenabdeckung bei Satellitenbildern um ein vieles höher als bei Luftbildern, jedoch können Satellitenbilder aufgrund mangelnder Auflösung derzeit nicht an die Qualität der Luftbilder anknüpfen.
3. Automatisierte Extraktion von Objekten aus digitalen Bildern oder hochauflösenden Satellitenbildern
 - Mit Hilfe von rein automatischen Auswerteverfahren können zur Effizienzsteigerung die manuellen Stereomessungen ersetzt werden und die Möglichkeit gegeben werden, auch ohne photogrammetrische Spezialausbildung 3D Objekte zu erfassen.
4. Erzeugung digitaler Oberflächenmodelle mittels LaserScanner in Flugzeugen oder Helikoptern
 - Diese Methode eignet sich vor allem für eine flächendeckende Erfassung des Geländes. Mit Hilfe von Grundrissdaten kann hier eine automatisierte Vektorisierung von Gebäudedaten erfolgen (*siehe Kapitel 2.4.2*).

5. Anwendung von terrestrischer Photogrammetrie oder terrestrischen LaserScannverfahren
 - Derzeit ist dieses Verfahren ein wichtiger Bestandteil zur Aufnahme einzelner Gebäude im Stadtgebiet. Allerdings dient es nur zur Dokumentation von Fassaden, Innenhöfen oder Innenräumen. Für eine Erfassung von Dachlandschaften ist diese Methode wenig geeignet.
6. Mobile Datenerfassung auf Fahrzeugen
 - Mit Hilfe von GPS-Geräten, digitalen Kameras und LaserScannern können mit diesem Verfahren Stadtmobiliar oder Fassaden aufgenommen werden.

Neben der Erfassung von Gebäudegrundrissen und -höhen muss bei der Rekonstruktion von Bauwerken auch die Aufnahme von Dachflächen mitberücksichtigt werden. Daher sind für die Gebäudemodellierung nur die Methoden 2 bis 4 von Interesse, wobei eine geodätische Erfassung als zusätzliche Option immer hinzugezogen werden kann. Im Folgenden sind weitere Informationen zu Grundlagendaten beschrieben, auf denen die meisten 3D Gebäudeobjekte beruhen.

2.4.1 Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK)

Die Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) wurde von den Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) entworfen und löste in den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts die bis dahin analog geführte Flurkarte ab. Die ALK enthält durch geodätische Erfassungen flurstücksscharfe Darstellungen von Liegenschaften, Gebäuden, Straßen, Eisenbahnen, Flüssen und weiteren Objekten im Maßstab von ca. 1:500 (vgl. WILHELMY, 2002) und bildet den vermessungs- und kartentechnischen Teil des Liegenschaftskatasters. Neben der ALK besteht das Liegenschaftskataster aus dem parallel geführten Automatisierten Liegenschaftsbuch (ALB), die über die Datenelemente „Flurstückskennzeichen“ und „Flurstückskoordinate“ miteinander verbunden sind. Durch amtlich gesteuerte Fortführungen kann sie für allgemeine Planungsvorhaben und im Bereich von 3D Stadtmodellen verwendet werden.

Die ALK ist durch eine logische Datenstruktur von Teildateien hierarchisch aufgebaut und ist bundesweit flächendeckend als Punkt- und Grundrissdatei vorhanden, die von den zuständigen Landesdienststellen herausgegeben wird. In der ALK-Punktdatei werden für die nummerierten Punkte des Liegenschaftskatasters neben den Koordinaten auch Angaben über die Art, die Höhe, die Qualität, die Herkunft sowie über die Abmarkung der Grenzpunkte geführt. Die objektstrukturierte Grundrissdatei dagegen speichert alle geometrischen und semantischen Informationen des Karteninhalts wie Flurstücke, politische Grenzen, Gebäude, tatsächliche Nutzungen, topographische Objekte, Texte und Punktnummern zur Beschriftung sowie nicht nummerierte Punkte in digitaler Form.

Die Datenausgabe an den Endnutzer ist an keinen Datenblattschnitt gebunden, sondern erfolgt blattschnitts- und maßstabsfrei. Jegliche Präsentation kann daher individuell gestaltet und mit den eigenen Fachdaten verknüpft und ergänzt werden. Dadurch ergeben sich zahlreiche Auswerte- und Analysemöglichkeiten (vgl. LGL BADEN-WÜRTTEMBERG, 2004). Im Konkreten findet eine Abgabe neben den proprietären Formaten verschiedener Hersteller auch in standardisierter Form in der Einheitlichen Datenbankschnittstelle (EDBS) statt.

Mit der Einführung von ALKIS (Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem) liegen die Informationen von ALK und ALB nun in einem System vor und sind nach internationalen Standards neu strukturiert worden. Eine Datenabgabe der ALKIS-Daten erfolgt über die Normbasierte Austauschchnittstelle (NAS). In Hessen wurde eine Umstellung von ALKIS gleichzeitig mit dem Lagebezugswechsel von Gauß-Krüger nach ETRS89/UTM vollzogen.

Häufig werden ALK- oder ALKIS-Daten als Grundlagendaten für 3D Stadtmodelle verwendet. In Abhängigkeit von der Gebäudehöhe können durch eine Erhebung (Extrusion) der Grundrisse „3D Klötzchen“ erzeugt werden, die eine erste Möglichkeit zur Visualisierung einer virtuellen 3D Stadtlandschaft darstellen. In einem weiteren Schritt können den Klötzchen Dachflächen zugeordnet werden, um die Detaillierungsstufe des Modells weiter zu erhöhen. Diese können beispielsweise direkt auf der Oberkante des Gebäudegrundrisses erstellt werden, oder es werden Dachflächen verwendet, die durch photogrammetrische Auswertemethoden erzeugt wurden (*siehe Abbildung 7*).

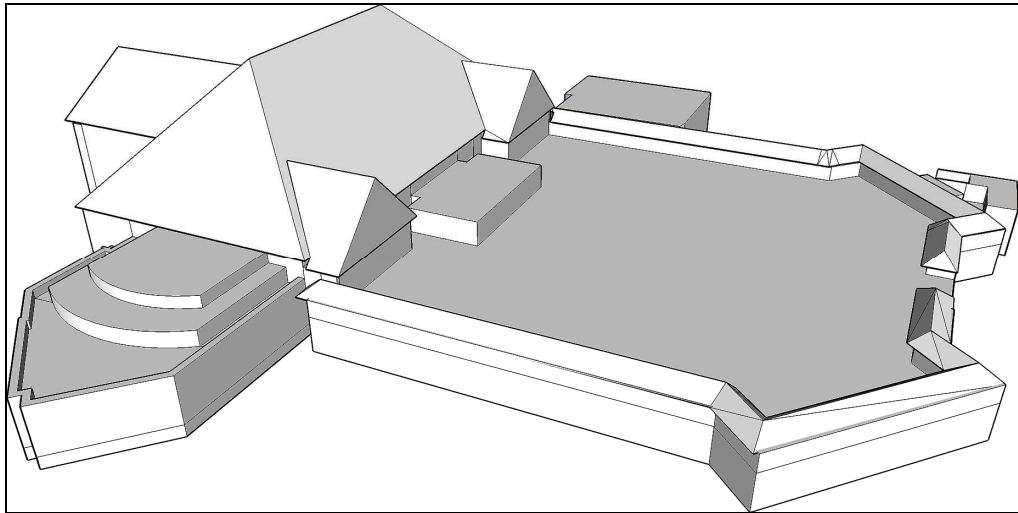


Abbildung 7: Ausmodelliertes Gebäude, das auf Grundlage der ALK Grundrisse erstellt wurde; Quelle: eigene Abbildung

2.4.2 LIDAR Daten

Neben der Extrusion von ALK-Grundrissen können weitere Verfahren zur Erfassung von Gebäudegrundrissen verwendet werden. Wie in *Kapitel 2.2.1* kurz erläutert, besteht die Möglichkeit einer 3D Gebäudedatenerfassung anhand von LIDAR-Daten. LIDAR steht für „Light Detection And Ranging“ und ist eine laserbasierte optische Abstandsmessung. Zur Erstellung eines DOMs wird mit Hilfe eines LaserScanners die Oberfläche durch flugzeuggestützte Anwendungen abgetastet. „Mit Hilfe eines stark gebündelten Laserstrahls wird aus der Laufzeit eines Impulses vom Aussenden bis zum Empfang die Entfernung zwischen dem Laserscanner und der jeweiligen Objektstelle, an der der Laserstrahl diffus reflektiert wird, gemessen“ (vgl. KRAUS, 2004:449). Parallel dazu wird der Horizontal- und Vertikalwinkel des Laserstrahls gemessen, so dass aus diesen polaren Größen direkt 3D Koordinaten berechnet werden können (*siehe Abbildung 8*). Die entstandene diskrete Menge von dreidimensionalen Abtastpunkten wird als Punktwolke bezeichnet. Je nach Auflösung der Wolke ist die Auswertung sehr aufwendig, da dieses Verfahren zu einer enormen Datenmenge führen und darüber hinaus Probleme bei einer Echtzeit-Visualisierung hervorrufen kann. Allerdings zeichnen sich LIDAR-Daten auch durch einen großen Automationsanteil und die hohe Genauigkeit und Messdichte aus, die durch die Wahl einer geringeren Flughöhe weiter

verbessert werden kann. Dies führt jedoch zu einer geringeren Streifenbreite und hat somit einen erhöhten Flugaufwand zur Folge.

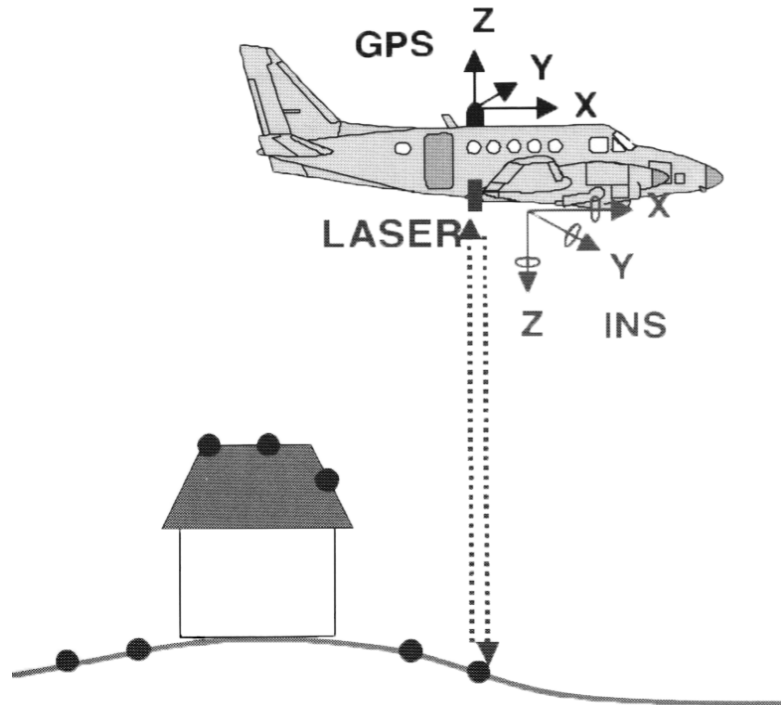


Abbildung 8: Das Prinzip des flugzeuggestützten LaserScannings; Quelle: HAALA, 2005:27

In der Regel gibt die Punktwolke in etwa die sichtbare Geländeoberfläche wieder. Je nach Intensität des einfallenden Laserstrahls können auch Objekte ohne eine klare Oberfläche wiedergegeben werden. Daher besteht beispielsweise die Möglichkeit innerhalb eines Waldgebiets die Vegetationsschichten zu durchdringen und sowohl die Baumkronen, als auch den Waldboden zu erfassen. Somit kann innerhalb eines bewaldeten Bereichs neben einem DOM auch ein DGM erstellt werden (siehe Abbildung 9).

Für die Isolierung von 3D Gebäudemodellen innerhalb der Punktwolke stehen derzeit eine Vielzahl von voll- und halbautomatischen Verfahren zur Verfügung. Es können jedoch nur in relativ locker bebauten Gebieten vollautomatische Werkzeuge flächendeckend eingesetzt werden. In dichter besiedelten Gebieten und im Innenstadtbereich sollte hingegen auf halbautomatische Systeme zurückgegriffen werden beziehungsweise eine manuelle Auswertung erfolgen. Das ist zum einen aufgrund der kleinräumigen Strukturen mit vielen Verdeckungen, zum anderen wegen

der Komplexität der Gebäudegrundrisse innerhalb dieses Bereichs notwendig. Daher ist eine vollautomatische Erfassung von 3D Gebäudemodellen zumindest mittelfristig nicht zu erwarten (vgl. HAALA, 2005).

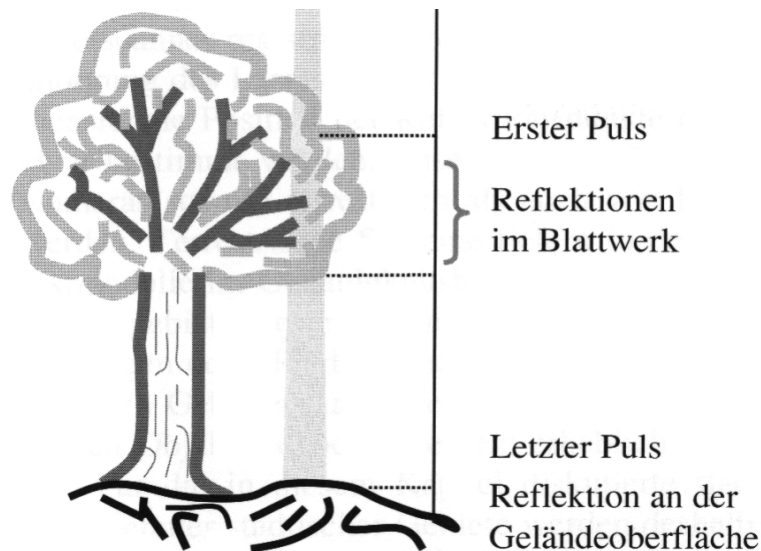


Abbildung 9: Schematische Abbildung des Reflektionsverhaltens von Laserimpulsen an Bäumen; Quelle: HAALA, 2005:28

2.5 Texturen

„Die Verwendung von Texturen in einem 3D-Stadtmodell (...) folgt dem Verlangen nach einer möglichst realistischen Darstellung des Gebietes. Allerdings sind dabei grundsätzliche Überlegungen hinsichtlich der Qualität und der Graphikformate aller verwendeten Texturen (...) anzustellen“ (AVERDUNG, 2006:171). Um eine detailgetreue Darstellung von virtuellen Stadtmodellen daher zu erhalten, ist eine Überlagerung der Gebäudegeometrien anhand von Bildtexturen eine Möglichkeit zur Visualisierung. Dabei eignen sich vor allem Fototexturen, wenn Detailansichten wie Türen, Fenstersimse oder das Mauerwerk nicht modelliert werden können oder sollen. Zur Texturierung von Dachflächen stehen üblicherweise Luftbild-Senkrechtaufnahmen zur Verfügung, die teilweise gemeinsam mit den LaserScandaten erfasst wurden. Die Bildkoordinaten der Aufnahmen können anschließend aus den Objektkoordinaten der Gebäudegeometrie abgeleitet und miteinander verknüpft werden (vgl. HAALA, 2005). Allerdings besteht häufig keine Möglichkeit optimale Bildtexturen zu erzielen, da wichtige Faktoren wie die Bildschärfe, der Einfallswinkel oder eine mangelnde Ausleuchtung des Fotos (Schattenwurf) die Aufnahmequalität heruntersetzen und eine

spätere manuelle Nachbearbeitung notwendig machen. „Auch kann eine Verbindung von Luftbildern und Nahbereichsaufnahmen bei der Texturierung von Objekten kritisch sein, da große Maßstabsunterschiede vorliegen und das menschliche Auge sehr sensitiv auf kleine Unstimmigkeiten entlang der Gebäudekanten reagiert. Trotzdem kommt der dynamischen Visualisierung mit realen Texturen zunehmend Bedeutung zu“ (GÜLCH, 2005:15).

2.5.1 Aufnahmen im Straßenraum

Häufig erfordert eine Texturierung von Gebäudefassaden den Einsatz von terrestrischen Aufnahmen im Straßenraum. Zu beachten ist jedoch, dass Texturen möglichst verzerrungsfrei als orthogonale Rasterdaten zur Verfügung stehen sollten. Bei terrestrischen Aufnahmen hingegen wird das Foto in Zentralprojektion erzeugt, so dass es an den Bildrändern zu entsprechenden Verzerrungen kommt und nur im Idealfall der Bild- und Objektmittelpunkt auf einer Geraden zur Bild- und Objektebene verläuft. Jedoch können Aufnahmen im Straßenraum meistens nicht direkt in Zentralprojektion aufgenommen werden, da es in vielen Fällen zu Überlagerungen durch andere Bauwerke, Fahrzeuge oder der Vegetation (Bäume und Hecken) kommt. Auch durch eine Änderung der Aufnahmeposition lassen sich häufig nicht alle störenden Elemente kompensieren. Daher muss ein Großteil der Fototexturen zuerst durch eine projektive Entzerrung nachbearbeitet und anschließend eine Retuschierung der Überlagerungsbereiche vorgenommen werden. Zwar lassen sich mit dieser Methode gute Ergebnisse erzielen, jedoch ist eine Verwirklichung für großflächige Stadtmodelle mit mehreren tausend Gebäuden aufgrund des hohen Arbeitsaufwandes flächendeckend nur schwer zu realisieren.

2.5.2 Eingesetzte Schrägbildaufnahmen

Neben den im Straßenraum abfotografierten Aufnahmen werden außerdem Luftbildschrägaufnahmen als Texturen eingesetzt (*siehe Abbildung 10*). Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass mit verhältnismäßig geringem Zeitaufwand flächendeckend Fototexturen für das Stadtgebiet erstellt werden können. Da die Fotos im Luftraum aufgenommen werden, wird eine Darstellung von potenziell störenden

Objekten wie parkenden Autos oder Bäumen vor der Fassade weitgehend vermieden. Folgendermaßen kann bei der Nachbearbeitung der Aufnahme auf ein langwieriges Retuschieren verzichtet werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass bei einem Bildflug das Stadtgebiet von mehreren Seiten aus aufgenommen wird, so dass Objekte häufig aus unterschiedlichen Blickwinkeln abfotografiert werden. Daher kann auf weiteres Fotomaterial zurückgegriffen werden, falls eine Fassade nicht vollständig einzusehen ist. Der Nachteil bei der Verwendung von Luftbildschrägaufnahmen besteht allerdings darin, dass die Aufnahmen stark verzerrt sind und im Nachhinein aufwendig nachbearbeitet müssen. Zwar sind bereits Möglichkeiten der automatischen Entzerrung von Fassadenaufnahmen durch geeignete Bildbearbeitungssoftware vorhanden, jedoch können gerade Gebäudevorsprünge wie Balkone oder Erker nicht verzerrungsfrei dargestellt werden. Auch sollte darauf geachtet werden, dass während des Bildflugs eine Bodenauflösung von 15cm (GSD 15) nicht überschritten wird, da ansonsten eine qualitativ hochwertige Darstellung der Textur nicht erzielt werden kann. Eine Verwendung dieser Fototexturen für hochwertige 3D Modelle ist daher nicht zu empfehlen.



Abbildung 10: Eine Schrägbildaufnahme, die als Grundlage für Gebäudefassaden dienen kann; Quelle: Stadt Kassel, Vermessung und Geoinformation

2.5.3 Datenschutz

Durch eine fortschreitende technische Entwicklung ist die Qualität von Fotografien einer ständigen Verbesserung unterworfen. Gerade in Verbindung mit Luftbildaufnahmen, Satellitenbildern und Aufnahmen im Straßenraum wird derzeit eine Grenze erreicht, die Bedenken bezüglich des Datenschutzes hervorrufen. Der Datenschutz ist eine wichtige Richtlinie, um personenbezogene Daten von Menschen und deren Eigentum zu schützen. Daher müssen bei der Veröffentlichung von Bildmaterial einige Grundregeln eingehalten werden.

Generell dürfen Aufnahmen von Häuserzeilen im öffentlichen Straßenraum durchgeführt werden und beispielsweise zur Texturierung von Gebäuden in einem 3D Stadtmodell verwendet werden. Jedoch muss hierbei auch das Persönlichkeitsrecht der Anwohner und Eigentümer berücksichtigt werden. Aus diesem Grund dürfen sich auf den Aufnahmen keine erkennbaren Personen befinden oder Kraftfahrzeug-Kennzeichen zu lesen sein, da die Information, wer sich wann an einer bestimmten Stelle aufgehalten hat, in der Regel nicht öffentlich zugänglich ist und den Bereich der Privatsphäre des Betroffenen tangiert (vgl. RP DARMSTADT, 2008). Aus diesem Grund muss zumindest das Gesicht der abgebildeten Person unkenntlich gemacht werden. Aber auch Aufschriften an Lastkraft- und Lieferwagen vor einem Gebäude dürfen auf den Aufnahmen nicht zu erkennen sein und müssen retuschiert werden. Aufschriften und Werbung vor und über Ladengeschäften hingegen sind Teil des öffentlichen Straßenraums und können in der Aufnahme dargestellt werden.

Gerade in den Außenbereichen der Stadt versperren oft hohe Hecken oder Bäume den Blick auf die Gebäudefassaden. Hier bedarf es jedoch der Einwilligung des Anwohners eine Fassade von einem privaten Grundstück aus zu fotografieren. Ansonsten muss das Gebäude mit Hecke oder Baum von der Straße aus aufgenommen werden. Darüber hinaus können sensible öffentliche Bereiche wie Bahnhöfe, Flughäfen oder Justizgebäude mit weiteren Einschränkungen verbunden sein, da diese vermehrt Ziele von gesetzeswidrigen Handlungen sind. Weitere Informationen sind im Datenschutzbericht des Regierungspräsidiums Darmstadt vorhanden, der im *ANHANG B* aufgeführt ist.

2.6 Stadtmöblierung

Der Begriff Stadtmöblierung kennzeichnet Objekte oder Ausrüstungsgegenstände, die im öffentlichen Raum vorhanden sind und für unterschiedliche Zwecke genutzt werden (siehe Abbildung 11). Im Konkreten dienen Stadtmöbel der Sauberkeit (Papierkörbe, öffentliche Toiletten) oder sind Teil des Verkehrsraums (Straßenschilder, Ampeln, Haltestellen). Ferner werden sie auch zur Kommunikation (Telefonzellen, Briefkästen) und zur Information (Litfaßsäulen, Informationstafeln) eingesetzt und können im Sinne von Freizeitaktivitäten genutzt werden (Spielgeräte, (Park)Bänke, Fahrradständer). Obwohl eine Stadtmöblierung eher für funktionale Bedürfnisse ausgerichtet ist, wird außerdem versucht einen Beitrag zum gesellschaftlichen und sozialen Leben und Miteinander zu erzielen.

Auf Basis einer virtuellen Stadtmöblierung kann ein 3D Stadtmodell realitätsnah erstellt werden. Dabei ist die Detaillierungsstufe von Bedeutung, da durch die Integration von hochauflösendem Mobiliar der Wiedererkennungswert steigt. Stadtmöbel werden vorwiegend mit einer speziellen Modellierungssoftware erstellt und anschließend in das Stadtmodell integriert. Je nach Größe und Form besteht die Textur aus entzerrten Fotoaufnahmen oder wird als vollausmodelliertes Objekt vorgehalten. Üblicherweise werden Stadtmöbel zuletzt in das Stadtmodell eingeladen, um hiermit einen Planungsprozess zu vervollständigen und Zusammenhänge aufzuzeigen.



Abbildung 11: Eine Parkbank als Beispiel für eine Stadtmöblierung; Quelle: eigene Aufnahme

2.7 Landmarken (Landmarks)

Eine Landmarke ist ein markantes geographisches Objekt, das bereits von weiter Entfernung wahrzunehmen ist. Der Begriff kommt ursprünglich aus der Luft- und Seefahrt und beschreibt eine auffallende topographische Begebenheit (markantes Geländere relief, hervorragende Bäume) oder ein künstlich erschaffenes Bauwerk (Leuchtturm), das an der Küstenlinie zu erkennen war und zur räumlichen Orientierung und Navigation diente. Im modernen Sprachgebrauch sind Landmarken Bauwerke im Gelände wie Denkmäler, Burgen oder Türme, die oft von touristischer Bedeutung sind. Aber auch natürliche Begebenheiten wie Berge oder Seen werden derartig bezeichnet. Im urbanen Raum sind Landmarken zumeist auch Wahrzeichen einer Stadt.

In einem 3D Stadtmodell unterscheiden sie sich zumeist aufgrund einer höheren Detaillierungsstufe, die sich von anderen Gebäuden im Stadtgebiet abheben und markant im Modell hervortreten. Im Allgemeinen wird der Gebäudekörper zuerst photogrammetrisch erfasst und anschließend die Wand- und Dachflächen mit fotorealistischen Texturen versehen oder komplett ausmodelliert. Aufwendige Details wie Dachgauben, Balkone oder Säulen werden zusätzlich dargestellt und erhöhen hierbei den Wiedererkennungseffekt. Aufgrund der höheren Qualitätsstufe werden Landmarken häufig mit spezieller Modellierungssoftware erstellt und anschließend in das 3D Modell integriert. Das Datenvolumen ist zumeist höher als bei einem Standardgebäude.

2.8 Interoperabilität

Durch das Zusammenspiel verschiedener Systeme können beim Datenaustausch und der Visualisierung von 3D Modellen Probleme auftreten. So werden CAD-Systeme häufig in anderen Maßstabsbereichen eingesetzt als in GIS-Anwendungen. Dementsprechend zeigen bei flächendeckenden Modellen CAD-Systeme häufig Schwächen auf. Darüber hinaus besitzen viele Visualisierungssysteme ihren Ursprung in der virtuellen Welt, für die eine Notwendigkeit besteht hohe Datenmengen zu verarbeiten. Daher sind Visualisierungssysteme für die Verarbeitung größerer Datenmengen optimiert. Jedoch wird mit dieser Methode häufig eine hohe Anforderung an die zugrunde liegende Hardwareausstattung vorausgesetzt (vgl. COORS & ZIPF, 2004).

Bis zur Einführung des Formats „CityGML“ wurde häufig bemängelt, dass es noch fehlende Standards zum Austausch und zur effizienten Speicherung von 3D Geodaten gibt. Inzwischen hat sich CityGML als anerkannte Lösung zur Standardisierung durchgesetzt, das vor allem zur Modellierung von 3D Stadtansichten eingesetzt wird (vgl. KOLBE & BACHARACH, 2006). Neben CityGML erwähnen TIEDE & BLASCHKE, 2005 das Format 3DS der Firma Autodesk als proprietäres Standardformat zum Export/Import von 3D Modellen und Animationen und zeigen die Visualisierung eines Modells in zwei verschiedenen Programmen auf. Als weiteres Austauschformat ist ebenfalls das 3D Shapefile der Firma ESRI zu erwähnen, das ebenfalls vielseitig eingesetzt werden kann. Eine weitere Alternative zur Speicherung von 3D Modellen bietet Google Earth mit dem KML-Format an, das unter anderem im Bereich der Modellierung von Gebäuden und zur Aufwertung von Stadtmodellen eingesetzt wird und vielfach auch von nicht professionellen Anwendern genutzt wird. Daneben existieren noch Formate wie VRML, GeoVRML, X3D oder Universal 3D (U3D) die ebenfalls zur Abspeicherung von dreidimensionalen Informationen verwendet werden.

2.8.1 CityGML

City Geography Markup Language (CityGML) ist ein Informationsmodell, das als geometrisch-semantisches Model für 3D Objekte im städtischen Raum angesehen wird (vgl. BEZEMA et al., 2007). Semantische 3D Stadtmodelle zeichnen sich dadurch aus, dass sie Informationen über den städtischen Raum in Form von klassifizierten Objekten mit räumlichen und nicht-räumlichen Eigenschaften strukturieren und damit auch die Bedeutung, Einordnung sowie physikalische und funktionale Eigenschaften repräsentieren (vgl. KOLBE, 2008).

CityGML ist ein offenes, auf XML-basiertes Datenmodell, das als GML3-Schema implementiert und zum Austausch von 3D Objekten konzipiert wurde. Daher kann CityGML sowohl als ein semantisches Modell als auch als Austauschformat angesehen werden (vgl. SCHUMANN, 2008). Mit Grundkenntnissen in XML und HTML ist CityGML eine leicht zu lernende Skriptsprache, die mit entsprechenden Vorkenntnissen auch manuell programmierbar ist (*siehe Anhang C*).

CityGML wurde von der SIG 3D (Special Interest Group 3D) im Rahmen der Initiative Geodateninfrastruktur Nordrhein-Westfalen (GDI NRW) aus Mitgliedern der Forschung, der Verwaltung und der Wirtschaft entwickelt und orientiert sich an den Richtlinien des Open Geospatial Consortiums OGC). Seit dem Jahr 2008 ist CityGML ein OGC Standardaustauschformat für dreidimensionale digitale Stadtmodelle und kann seitdem kostenfrei genutzt werden. CityGML besitzt die Eigenschaft unterschiedliche Detaillierungsstufen verlustfrei darzustellen und garantiert daher einen nahtlosen Übergang zwischen den unterschiedlichen LoD-Stufen. Dabei werden Klassen und Beziehungen für die meisten topographisch relevanten städtischen und regionalen Modelle unter Beachtung der Eigenschaften von Geometrie, Topologie, Semantik und Aussehen definiert (vgl. GRÖGER et al., 2007). Im Konkreten können hiermit sämtliche Objekteigenschaften wie Bauwerke, Höhen, Vegetation, Gewässer, Stadtmöblierung und weitere verlustfrei und systemunabhängig ausgetauscht werden (vgl. KOLBE & BACHARACH, 2006).

2.8.2 3DS

Das 3DS Format ist ein von der Firma Autodesk entwickeltes Dateiformat, das sich zu einem de facto Austauschformat für die Übertragung von 3D Modellen entwickelt hat. Ursprünglich wurde es als internes Datenformat für das 3D Computergraphik- und Animationsprogramm 3D Studio MAX (heute 3ds Max) entwickelt. Durch die Eigenschaft als binäres Datenformat können Modelle schnell in eine 3D Software geladen und dargestellt werden.

2.8.3 3D PDF

Das „Portable Document Format“ (PDF) ist ein von der Firma Adobe Systems entwickeltes Dateiformat, das in erster Linie zum Austausch von Texten und Graphiken entwickelt wurde. Darüber hinaus besitzt eine PDF-Datei häufig eine kleinere Dateigröße als die eigentliche Ursprungsdatei und wird daher ebenfalls zu Komprimierungszwecken genutzt. Mittlerweile können auch 3D Daten, Modelle und Animationen als PDF abgespeichert und weitergegeben werden. Jedoch besteht der Nachteil darin, dass Attributabfragen nicht möglich sind, und das Format lediglich zur

Visualisierung eingesetzt werden kann. Nach CONSTANTIN & SCHIESL, 2010 können mit Hilfe des 3D PDF Formats folgende Anwendungen für großmaßstäbige 3D Objekte durchgeführt werden.

- Verfassen von 3D Funktions- und Benutzungsanleitungen
- Erstellen interaktiver 3D Montageanleitungen und Wartungshandbücher
- Freie Betrachtung und Navigation in 3D
- Abbildung von vollständigen Gerätschaften und Gebäuden in 3D
- Anzeige aller Grundrisse in 3D
- Interaktive Präsentation von Produkten mit veränderbaren 3D Modellen
- Konfiguration von Produktvarianten in 3D
- Anzeige und Auswahl von Features am Modell
- Darstellung von 3D Katalogen mit ganzen Portfolios
- Erzeugung von 3D Animationen in sämtlichen 3D PDF-Dokumenten
- Freie 3D Kamerafahrten mit unabhängiger Betrachtung von Abläufen, Prozessen und weiteren bewegten Animationen
- Interaktive Eingriffsmöglichkeiten innerhalb einer Animation

Durch den weitverbreiteten Bekanntheitsgrad des PDFs ist davon auszugehen, dass sich das Format auch im 3D Bereich weiter entwickeln wird, und zahlreiche neue Anwendungsmöglichkeiten entstehen werden.

2.8.4 KML

KML (Keyhole Markup Language) ist eine auf XML- basierende Auszeichnungssprache, die ursprünglich von der Firma Keyhole entwickelt wurde. KML lässt sich am besten mit HTML vergleichen, da KML-Instanzdokumente von einem Geobrowser in ähnlicher Weise interpretiert werden wie HTML von einem Webbrowser. Mit der Übernahme der Firma Keyhole durch Google Inc. wurde eine Entwicklung des Formates für die Implementierung in das Geoportal Google Earth weiter vorangetrieben, um das KML für die Kennzeichnung (Annotierung) des ausgestellten Karten- und Bildmaterials zu verwenden. Zu einer Annotation der Erde ermöglicht KML die Definition von Piktogrammen und Textmarkierungen auf der Erdoberfläche. Dabei werden die überlagernden Bilder spezifiziert sowie 2D- und 3D-

Formen mit verschiedenen Darstellungsstilen angegeben (KOLBE, 2008). Daher können neben Rasterdaten auch Vektordaten gespeichert werden, die die geometrischen Eigenschaften von Punkten, Linien, linearen Ringen und Flächen aufweisen.

Nach einer erneuten Weiterentwicklung bis zur Version 2.2 ist KML im Jahr 2008 als OGC-Standard anerkannt worden und wird hauptsächlich zum Austausch von geographischen Annotations und zur Darstellung von internetbasierenden, mobilen und Onlinekarten eingesetzt. Auch ein Austausch im 3D Bereich kann mit Hilfe von KML erfolgen. Das Abspeichern von 3D Informationen erfolgt jedoch nicht direkt in KML, sondern über einen Link auf eine externe COLLADA-Datei. COLLADA ist ein ebenfalls auf XML-basierendes Datenformat, das ausschließlich im 3D Bereich eingesetzt wird und einen offenen Standard für 3D Objekte darstellt. Mit dieser Methode besteht die Möglichkeit 3D Objekte in virtuelle Stadtmodelle zu überführen und zu visualisieren.

Neben dem KML-Format können Daten auch im KMZ-Format abgespeichert werden, das lediglich eine ZIP-komprimierte Version darstellt. Dabei werden die Inhalte von mehreren KML-Dateien zusammengepackt und abgespeichert.

2.8.5 Videodateien

Mit Hilfe von Videodateien können Gelände- und Stadtansichten wiedergegeben werden. Oft werden dabei Rund- und Durchflüge innerhalb des Stadtmodells gezeigt. Zuerst werden üblicherweise Flugszenarien konzipiert und durchgeführt, um diese anschließend als Videodatei aufzunehmen. Meistens wird zu Beginn der Aufnahme das vollständige Modell oder ein großer Ausschnitt davon dargestellt, um dem Betrachter einen Überblick des Geländes oder der Stadt zu vermitteln. Nachfolgend wird eine bestimmte Stelle im Stadtmodell angeflogen, so dass Straßenschluchten sichtbar werden und weitere Details zu erkennen sind. Am Ende der Aufnahme wird häufig eine zweite Übersichtsperspektive eingenommen, oder der Flug endet an einem gut ausmodellierten und repräsentativen Objekt. Der Vorteil einer Weitergabe von Videodateien besteht darin, dass diese nahezu auf allen Computerplattformen und Betriebssystemen abgespielt werden können, so dass eine Weitergabe an den Endnutzer problemlos möglich ist. Der Nachteil hingegen ist, dass der Anwender während des

Abspielvorgangs nicht interaktiv eingreifen kann. Die Videosequenz lässt sich lediglich zu einem ausgewählten Zeitpunkt anhalten und weiterfahren. Videodateien im AVI-Format werden mit zunehmender Laufzeit sehr groß. Oftmals kann eine Aufnahme mehrere hundert Megabyte erreichen, so dass eine Komprimierung der Datei erfolgen sollte. Jedoch gehen bei der Kompression zumeist auch Informationen verloren, so dass sich die Bildqualität reduziert und die Farbbrillanz verringert wird. Daher ist eine Umwandlung in ein komprimiertes Dateiformat fast immer verlustbehaftet.

2.8.6 Viewer mit Inter-/Intranetanschluss

Der Vorteil eines 3D Viewers liegt in der Möglichkeit interaktiv in das Modell einzugreifen. Im Allgemeinen besitzt ein 3D Viewer eine übersichtliche Oberfläche mit einfachen Navigationsmöglichkeiten und weiteren Funktionen (beispielsweise Mess- oder Suchfunktionen), mit denen es möglich ist nahezu das gesamte Spektrum der Produktionssoftware abzudecken. Mit Hilfe der Viewerlösung kann das Stadtmodell aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden und für individuelle Bedürfnisse und Planungen genutzt werden. Häufig besteht die Möglichkeit Animationen zu erstellen, oder einzelne Objekte zu verlinken. Oftmals stehen 3D Viewer auch zum kostenfreien Download zur Verfügung, so dass ein 3D Modell einer größeren Benutzergruppe zugänglich gemacht werden kann, wenn die vorhandenen Geodaten zentral auf einem Server gespeichert sind. Zunehmend lassen sich auch 3D Viewer über einen Webbrowser integrieren, um Modelle verstärkt über das Inter-/Intranet abzurufen.

Viele Viewer besitzen ein eigenes Dateiformat. Der Vorteil eines eigenen Formats besteht darin, dass eine Weitergabe der Geodaten möglich ist, ohne die Originaldaten abgeben zu müssen. Weiterhin ist es nicht notwendig das Stadtmodell in seiner Gesamtheit weiterzugeben, sondern es können themenspezifische Daten herausgefiltert und individuell abgegeben werden. Der Nachteil hingegen besteht darin, dass die Originaldaten zuerst in das Viewerformat konvertiert werden müssen. Je nach Größe des Modells kann eine Konvertierung sehr zeitaufwendig sein.

2.9 Fazit

Nachgebildete virtuelle 3D Stadtmodelle darzustellen ist für den Betrachter sehr beeindruckend und lässt das Modell zu einem visuellen Erlebnis werden. Obwohl die Arbeiten hierbei noch im Anfangsstadium stehen, ist es von Bedeutung, dass sich ein gängiges Austauschformat zur automatisierten Entwicklung und Fortführung von 3D Geodaten etablieren wird. Ob sich das CityGML als Standardformat für 3D Stadtmodellierung durchsetzen kann, ist noch nicht abschließend zu beantworten, da auch das KML von einem großen Nutzerkreis (gerade von nicht professionellen Anwendern in Google Earth) eingesetzt wird.

Neben der Etablierung eines Standardformats sollte jedoch der Fokus auch auf die Analysemöglichkeiten im 3D Bereich gelenkt werden, in denen sich ein enormes Potential für Fachanwendungen verbirgt.

3 Ausgangssituation und Rahmenbedingungen

3.1 Die Stadt Kassel



Abbildung 12: Ein Übersichtsbild der Stadt Kassel mit den Höhenlagen des Habichtswalds (hinten); Quelle: Stadt Kassel, Vermessung und Geoinformation

Die Stadt Kassel liegt im nördlichen Teil des Bundeslandes Hessen. Im Zentrum von Deutschland gelegen ist sie mit rund 200.000 Einwohnern nach der Metropole Frankfurt am Main und der Landeshauptstadt Wiesbaden die drittgrößte Stadt des Landes. Trotz dieser zentralen Lage ist die Region mit einer geringen Bevölkerungsdichte sehr ländlich geprägt. Mit einem Einzugsgebiet von rund 500.000 Menschen ist Kassel das Oberzentrum der Region Nordhessen und Teilen von Südniedersachsen. Bedingt durch den früheren Status einer Residenzstadt ist Kassel noch heute Sitz vieler Justiz- und Verwaltungsbehörden. Daher besitzt die Stadt neben dem Bundessozialgericht auch Einrichtungen des Land- und Amtsgerichts sowie den Verwaltungsgerichtshof Hessen VGH. Wichtige Verwaltungsfunktionen sind ebenfalls in der Stadt gebündelt. Neben dem Regierungspräsidium Kassel ist die Stadt Sitz des Landkreises und des Zweckverbandes Raum Kassel, einer Einrichtung für kommunale Zusammenarbeit der Großstadtregion. Schließlich ist die Stadtverwaltung Kassel mit ihren rund 2300 Mitarbeitern einer der größten Arbeitgeber der Stadt.

Derzeit durchlebt Kassel einen Strukturwandel, der neben dem Arbeitsplatzwachstum im Dienstleistungssektor auch durch die Deutsche Einheit mit Wachstumspotentialen in

den Neuen Ländern beeinflusst wurde. Die, durch die einstige Firma Henschel geprägte, Industriestadt besitzt zwar heute noch immer Standorte der Firmen Bombardier, Wegmann, Daimler und Volkswagen im benachbarten Baunatal, jedoch siedeln sich zunehmend auch Firmen im Dienstleistungs- und Logistikbereich an.

Die Stadt liegt mit ca. 106 Quadratkilometern in einem Höhenbereich zwischen 133 und 616 Metern über dem Meeresspiegel innerhalb einer Mittelgebirgslandschaft am Fluss Fulda (*siehe Abbildung 12*), der 20 Kilometer flussabwärts mit dem Zusammenfluss der Werra die Weser bildet. Durch diese Lage innerhalb des Kasseler Beckens ist das Geländeprofil der Stadt für ein 3D Modell sehr reizvoll (*siehe Abbildung 13*).

Nach einer starken Zerstörung im Zweiten Weltkrieg sind in der Stadt nur sehr wenige historische Gebäude erhalten geblieben. Die Innenstadt wurde mit damals modernen Straßenzügen autogerecht in den 50er Jahren neu aufgebaut, so dass die traditionellen Fachwerkhäuser zum größten Teil aus dem Stadtbild verschwanden. Nur im Westteil der Stadt sind die historischen Straßenzüge und einige Wohnhäuser aus der Gründerzeit weitgehend verschont geblieben. Aufgrund des Abzugs von großen Teilen der Bundeswehr an der ehemaligen Innerdeutschen Grenze, wurden viele Konversionsflächen frei, die zum Teil noch brach liegen oder noch nicht vollständig entwickelt sind. Die vorgenannten Informationen prägen die bisherige und zukünftige Stadtentwicklung und spiegeln sich daher in einem 3D Stadtmodell wieder.

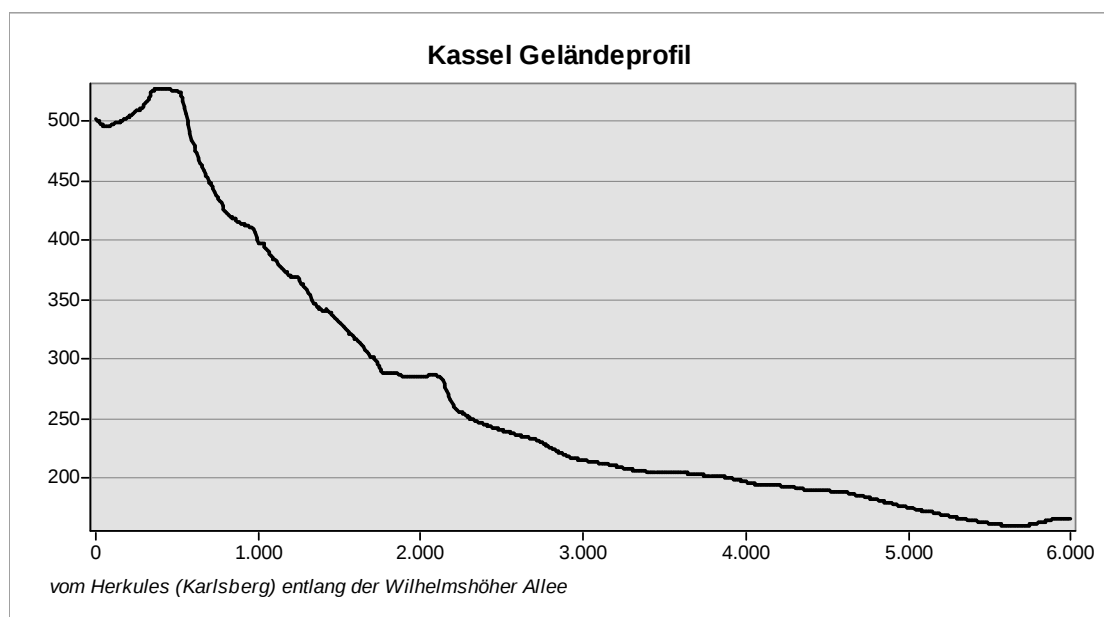


Abbildung 13: Das Geländeprofil vom Habichtswald im Westen hinunter ins Kasseler Becken.

3.2 Zuständige Einrichtungen und Kooperationen

Bedingt durch die Verantwortung für geografische Grundlagendaten im Stadtgebiet, wurden die Arbeiten an einem 3D Stadtmodell dem Fachamt für Vermessung und Geoinformation zugeordnet. Nach einer längeren Vorprojektphase konnten Mitte 2009 die Arbeiten zum Projekt aufgenommen und erste Ergebnisse geliefert werden.

Insbesondere im Bereich des Baudezernats der Stadt kann ein 3D Modell die Arbeiten erleichtern und auf längere Basis eine ämterübergreifende Planungsgrundlage geschaffen werden. Daher konzentrieren sich die möglichen Anforderungen hauptsächlich an die Bedürfnisse dieser Ämter. Derzeit sind folgende Ämter Bestandteil des Baudezernates der Stadt Kassel (*mit Gliederungsnummern in Klammern*).

- Bauverwaltungsamt (-60-)
- Vermessung und Geoinformation (-62-)
- Stadtplanung, Bauaufsicht und Denkmalschutz (-63-)
- Wohnungsamt (-65-)
- Straßenverkehrsamt (-66-)
- Umwelt und Gartenamt (-67-)
- Kasseler Entwässerungsbetriebe (KEB) (-71-) (Eigenbetrieb)

3.2.1 Potenzielle Verwendungsmöglichkeiten

Für das Fachamt für amtliche Vermessungen und geografische Grundlagendaten bietet ein 3D Stadtmodell für die *Vermessung und Geoinformation* Vorteile bei der Abrufung und Fortführung der Hausnummern- und Gebäudedatenbank. Auch für den vermessungstechnischen Außendienst kann ein 3D Modell als Planungsgrundlage für Einmessungen und für die Ingenieursvermessung dienen. Da das 3D Projekt diesem Amt zugeteilt wurde, werden weitere Arbeiten mittelfristig in diese Richtung vorangetrieben.

Für das Amt der *Stadtplanung, Bauaufsicht und Denkmalschutz* ist das 3D Modell für Sichtbarkeitsanalysen und Quartiersplanungen von Bedeutung. Durch interaktives Eingreifen können beispielsweise die Gebäudehöhen verändert oder anderweitige

Planungen in das Modell integriert werden. Für den Denkmalschutz können relevante Gebäude herausgefiltert und individuell gekennzeichnet werden.

Das *Straßenverkehrsamt* kann ein Stadtmodell ebenfalls für Planungen von Baumaßnahmen und Versorgungsleitungen einsetzen. Desweiteren sollen ein Kataster für Verkehrsschilder aufgebaut und Litfaßsäulen im Stadtgebiet erfasst werden. Es ist von Vorteil, wenn die vorbereitenden Arbeiten bereits eine 3D Fähigkeit der Projekte mitberücksichtigen würden.

Mit dem Zustandskataster der Straßenbäume im Stadtgebiet beteiligt sich das *Umwelt- und Gartenamt* bereits am Aufbau des 3D Stadtmodells. Mit Projekten, wie der Lärmausbreitung an Hauptstraßen oder Feinstaubemissionen im Stadtgebiet, ergeben sich noch weitere Anforderungen des Amtes an ein 3D Stadtmodell. Als untere Wasserschutzbehörde obliegt es dem Umwelt- und Gartenamt auch vorbeugende Maßnahmen gegen Hochwasser zu treffen. Mit einem 3D Modell können daher Hochwasser virtuell simuliert und analysiert und entsprechende Gegenmaßnahmen getroffen werden (*siehe Abbildung 14 und Abbildung 15*). Auch die Mitarbeit am Aufbau eines Solarkatasters, das derzeit von der Vermessung und Geoinformation betreut wird, stellt ein großes Potential für ein 3D Stadtmodell dar.



Abbildung 14: Schematische Darstellung der Innenstadt bei durchschnittlichem Wasserabfluss der Fulda.



Abbildung 15: Darstellung der Überflutungszonen bei Hochwasser

Für den *Kasseler Entwässerungsbetrieb (KEB)* ist ein 3D Leitungskataster von Bedeutung, das Kanalleitungen aufzeigt, die unterhalb der Erdoberfläche verlegt wurden. Daher sollte bei der Erstellung eines 3D Modells zuerst abgeklärt werden, ob Objekte auch unterhalb der Erdoberfläche abgebildet werden können. In diesem Zusammenhang sind vor allem die Tiefe der Leitungen unterhalb der Geländeoberfläche, sowie deren Ausmaße entscheidende Kriterien. Ebenfalls von Interesse ist die Frage, in welchem Abstand die unterschiedlichen Leitungen zueinander liegen.

Mit Ämtern außerhalb des Baudezernats konnten bisher noch keine konkreten Projekte in Verbindung gebracht werden. Jedoch könnte ein 3D Modell gegebenenfalls für folgende Ämter von Interesse sein.

- Liegenschaftsamt: Verfügt über sämtliche Liegenschaften im Stadtgebiet
- Schulamt: Interesse bei der Schulwegeplanung
- Sportamt: Visualisierung von Sportstätten
- Ordnungsamt: Kataster sozialer Brennpunkte
- Die Stadtreiniger: Strukturdaten

Für die Stadtreiniger bietet ein 3D Modell die Möglichkeit Fragestellungen nach der Anzahl und den Standorten von Ein- oder Mehrfamilienhäusern zu beantworten. Insbesondere sind Informationen über die Breite von Straßen oder Straßenabschnitten

für die Straßenreinigung und die Streupflicht im Winter von Bedeutung, die von einem 3D Modell übersichtlich dargestellt werden können.

3.3 Projekt Anmeldung zum UNESCO-Welterbe

Das Projekt der Welterbeanmeldung ist ein gemeinsames Projekt der Stadt Kassel und des Bundeslandes Hessen mit dem Ziel, den im Westen der Stadt gelegenen Bergpark Wilhelmshöhe zusammen mit den barocken und teilweise romantischen Wasserspielen zum UNESCO-Welterbe zu nominieren. Innerhalb der Kernzone befinden sich der kupfergetriebene Herkules, eine Figur der griechischen Mythologie, die über einem ca. 70 Meter hohen oktogonalen Bau thront, die neugotische Löwenburg und das Schloss Wilhelmshöhe, das auf dem östlichen Plateau des Parks liegt (*siehe Abbildung 16*). Dieses Vorhaben ist die Ausgangsbasis für die Konzeption eines 3D Stadtmodells und ist Bestandteil des Managementplans der Welterbeanmeldung, der mit weiteren Unterlagen bei der UNESCO eingereicht wird.

Die Vorbereitungen zur Welterbeanmeldung laufen seit ca. fünf Jahren. Bis Anfang 2010 wurden bereits alle relevanten Unterlagen für die Anmeldung erarbeitet und zusammengetragen, um die Bewerbung im September 2010 zu einer Vorprüfung einzureichen. Mit einer Entscheidung der UNESCO wird voraussichtlich im Jahr 2013 gerechnet.



Abbildung 16: Abbildung des Bergparks mit Blickrichtung nach Westen zum Herkules (links) und nach Osten zur Stadt (rechts); Quelle: Stadt Kassel, Vermessung und Geoinformation

3.3.1 Bergpark Wilhelmshöhe mit den Wasserspielen

Der Bergpark Wilhelmshöhe ist mit rund 240 Hektar der größte Bergpark Europas, der auf einem Höhenzug angelegt wurde. Bereits 1696 im barocken Stil errichtet erstreckt sich der Park in Ost-West-Ausdehnung zwischen Herkules (523 Meter) und dem Schloss Wilhelmshöhe (285 Meter) im Habichtswald bei Kassel. Im Jahre 1785 wurde der Park in Teilbereichen nochmals überformt und erweitert. So blieb die zentrale barocke Achse erhalten, während weite Teile des Parks später im Stile des englischen Landschaftsgartens angelegt wurden. Daher ist der Bergpark heute ein Abbild der europäischen Kunst- und Kulturgeschichte, der mehrere Stile miteinander verbindet.

Weltweite Bekanntheit erlangt der Park durch die Wasserspiele, die im Jahre 1714 in barocker Form erstmals der Öffentlichkeit vorgeführt wurden. Während der Vorführung werden rund 1200m³ Wasser, das zuvor in den Höhenlagen des Habichtswalds eingezogen und in großen Becken gesammelt wurde, vom Herkules über die Kaskaden zum Fontänenteich beim Schloss Wilhelmshöhe geleitet. Dabei legt das Wasser in rund einer Stunde einen Höhenunterschied von ca. 240 Metern zurück. Ende des 18. Jahrhunderts wurden die Wasserspiele mit zusätzlichen Bauwerken wie der Teufelsbrücke oder dem Aquädukt weiter ausgebaut. Den Abschluss finden die Wasserspiele im Fontänenteich, in dem während der Vorführung eine rund 50 Meter hohe Wasserfontäne entsteht. Das Herausragende an den Wasserspielen ist die Tatsache, dass die Technik ausschließlich auf dem natürlichen Gefälle beruht. Es gibt keine Pumpen, die das Wasser von einer Station zur nächsten leiten. Aufgrund dieser ausgefeilten und einzigartigen Technik wird von Seiten des Landes Hessen und der Stadt Kassel die Aufnahme als UNESCO-Weltkulturerbe beantragt.

3.3.2 Beteiligte

Um einen erfolgreichen Projektstart zu gewährleisten, wurden zunächst Arbeitsgruppen gebildet, die sich in regelmäßigen Abständen treffen, um über den Stand des Projekts zu berichten und die weitere Vorgehensweise zu diskutieren. Folgende Behörden sind an diesem Projekt beteiligt.

- Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst (HMWK)
- Landesamt für Denkmalpflege Hessen als Obere Denkmalschutzbehörde

-
- Hessen Forst
 - Regierungspräsidium Kassel als Obere Naturschutzbehörde
 - Museumslandschaft Hessen Kassel (MHK)
 - Stadt Kassel
 - Stadtplanung, Bauaufsicht und Denkmalschutz
 - Kulturamt
 - Vermessung und Geoinformation
 - Kassel Marketing GmbH
 - Gemeinde Habichtswald
 - Bürger für das Welterbe e. V. mit ca. 120 Mitgliedern

3.3.3 Anforderungen an das Bergparkmodell

Für das Projekt der Welterbeanmeldung wurden folgende Anforderungen an das Modell gestellt. Eine zentrale Bedeutung besitzen hierbei die Straßenzüge im Stadtgebiet, die als Sichtachsen zum Bergpark wesentlich die westliche Stadtentwicklung des 19. Jahrhunderts prägen. Sichtachsen sind im Landschafts- oder Städtebau sogenannte Schneisen, die eine Sicht auf eine natürliche Begebenheit oder ein herausragendes Bauwerk ermöglichen. Strahlenförmige Sichtachsen wurden hauptsächlich im Barock eingesetzt, um den Herrschaftsanspruch des Regenten städtebaulich zu verdeutlichen. Mit Hilfe eines LoD1-Modells konnten bereits mehrere Straßenzüge in ihrer Bedeutung als Sichtachsen herausgearbeitet werden:

- Wilhelmshöher Allee (zentrale Hauptachse)
- Friedrich-Ebert-Straße (Hauptachse)
- Goethestraße (Hauptachse)

Darüber hinaus wurden weitere Straßenzüge ermittelt, bei denen es Blickbeziehungen zum Bergpark gibt (*siehe ANHANG A*). Die Hauptachsen der untersuchten Straßenzüge sollen anhand von Fassadenfotos detaillierter ausmodelliert werden, um den virtuellen Eindruck des Modells an der Realität anzupassen. Da weitere Objekte wie Bäume die Sicht auf den Bergpark behindern könnten, müssen diese ebenfalls in das Modell integriert werden.

3.4 Innenstadtmodell

Nach dem Aufbau des Bergparkmodells wurde Anfang 2010 mit den Arbeiten zur Entwicklung eines Innenstadtmodells begonnen. Grund hierfür waren Bedürfnisse weiterer Projekte, bei denen die Schwerpunkte im Innenstadtbereich lagen. Beispielsweise bestand von Seiten des Straßenverkehrsamtes der Wunsch nach dem Aufbau eines Katasters für Verkehrsschilder und für Litfaßsäulen, die sich weitestgehend auf den Innenstadtbereich konzentrieren. Aufgrund des höheren Wiedererkennungswerts im Citybereich ist angedacht, das Innenstadtmodell mit zusätzlichen hochaufgelösten Objekten (Stadtmöbeln und Landmarken) weiter zu ergänzen.

3.5 Eingesetzte Software

Um Projekte umzusetzen, bedarf es umfangreicher und leistungstarker Anwendungssoftware. Folgende Programme waren notwendig, um das Projekt erfolgreich durchzuführen. Zusätzlich wurde ein Konzept entwickelt, das die einzelnen Schritte, Datenquellen, Datenformate und Anwendungsprogramme darstellt. Das Konzept ist in *Kapitel 4: Lösungsansatz, Abbildung 18* grafisch abgebildet.

3.5.1 ESRI ArcGIS und 9.3

Ein Großteil aller 2D Geometriedateien des Amtes liegen als Shapedateien vor, die mit der Software ArcGIS der Firma ESRI bearbeitet werden. Inzwischen beschränkt sich der Einsatz der Software innerhalb der Stadtverwaltung nicht nur auf die Vermessung und Geoinformation, sondern wird auch in weiteren Ämtern eingesetzt. Dies erleichtert die Zusammenarbeit untereinander und unterbindet potentiell umständliche und verlustbehaftete Konvertierungen.

Viele der gewonnenen dreidimensionalen Daten besitzen ihren Ursprung im zweidimensionalen Bereich. Mit Hilfe von ArcGIS wurden die Basisdaten für die Integration in das 3D Modell aufbereitet und exportiert.

3.5.2 3D Analyst 9.3 -ArcScene-

Der 3D Analyst ist eine ArcGIS Erweiterung (Extension), mit der Objekte dreidimensional dargestellt und analysiert werden. Mit Hilfe dieser Software besteht die Möglichkeit unterschiedliche Ansichten aus verschiedenen Blickwinkeln zu erstellen und Oberflächenabfragen durchzuführen. Eine kombinierte Vektor- und Rasterdarstellung ist dabei möglich. Durch die Möglichkeit der Extrusion, können auch 2D Daten eingeladen werden, die anhand der Eingabe von Höhendaten in der dritten Dimension abgebildet werden. Nach ESRI, 2010 bietet der 3D Analyst folgende Funktionalitäten.

- Erstellung von dreidimensionalen Ansichten aus GIS Daten.
- Durchführung von Analysen von 3D Daten, wie etwa Volumenberechnungen, Sichtbarkeitsanalysen und Geländemodifikationen.
- Integration und Darstellung von Daten in lokalem bis globalem Zusammenhang
- Erweiterte Analysen von 2D und 3D Daten.
- Analyse oder dreidimensionale Visualisierung von Modellergebnissen
- Einsetzung von dreidimensionalen Symbolen und Objektmodellen / Texturen in der Visualisierung .
- Erzeugung von Videosequenzen aus Visualisierungsergebnissen.

Der 3D Analyst besteht aus zwei Komponenten - ArcGlobe und ArcScene. Während in ArcGlobe überwiegend 3D Darstellungen in kleineren und mittleren Maßstäben abgebildet werden, wird ArcScene eher im Bereich der 3D Stadt- und Geländemodelle eingesetzt.

Das Ursprungskonzept sah vor ArcScene als vollwertige Visualisierungssoftware einzusetzen. Erste Projekte konnten bereits mit dieser Software durchgeführt werden. Jedoch wurde aufgrund langer Ladezeiten und geringer Performance davon abgesehen, diesen Ansatz weiterzuverfolgen. Neben dem Visualisieren und Analysieren einzelner 3D Shapedateien und zur Erstellung von TINs und TINGrids wird die Software derzeit für folgende Funktionen eingesetzt

-
- Erstellung von Höhenlinien
 - Ermittlung von Hangneigungen
 - Darstellung von Schummerungen
 - Sichtbarkeitsanalysen
 - Flächen und Volumenberechnungen

3.5.3 Autodesk LandXplorer Studio Professional 2009

Der LandXplorer Studio Professional 2009 der Firma Autodesk ist ein Echtzeit-Autorensystem zur Visualisierung von 3D Geodaten. Besonders geeignet ist er für die Darstellung und das Management von 3D Stadt- und Landschaftsmodellen. Die Software bietet eine Vielzahl von Import-/Export- und Konvertierungsmöglichkeiten. Mit dem Import spezifischer 2D und 3D Objekte können auf diese Weise Stadtmodelle erstellt und analysiert werden. Durch die Möglichkeit des Echtzeit-Renderings ist eine performante Darstellung auch bei größeren Datenmengen möglich.

Ursprünglich entwickelt wurde die Software von der Firma 3DGeo in Potsdam, die ein Ableger des Hasso Plattner- Instituts war, und im August 2008 von der Firma Autodesk übernommen wurde. Typische Nutzer der Software sind vor allem die Bereiche der Öffentlichen Verwaltung. Aber auch in der Privatwirtschaft wird das Produkt vielfältig eingesetzt. Mit Hilfe dieser Software werden Geländemodelle dreidimensional dargestellt und mit Raster- oder Vektordaten überlagert. Ebenfalls ist ein Austausch von gängigen GIS- und 3D Daten möglich. Besonders zu erwähnen ist hierbei die Import- und Exportmöglichkeit des CityGML-Formats. Darüber hinaus ist eine Verwendung von 2D/3D Shapdateien, 3DS- oder X3D-Modellen möglich. Ebenfalls besteht die Möglichkeit zur Fertigung von Videodateien durch eine Erstellung von Kamerapfaden. Als weitere Exportfunktionen ist hier das KMZ als Exportformat zu Google Earth zu erwähnen. Bei einer datenbankgestützten Verwendung ist ein gleichzeitiger Zugriff auf Geländemodelle, Geländetexturen oder auf Stadtmodelle möglich. Um eine Verbesserung der dreidimensionalen Wahrnehmung zu erhalten kann der „Stereomodus“ eingeschalten werden, bei dem ein Anaglyphenbild aus zwei Halbbildern entsteht und durch die Verwendung einer Rot-Grün Brille einen echten 3D

Eindruck vermittelt (siehe Abbildung 17). Für Präsentationszwecke kann eine sogenannte „Pack&Go-Datei“ erstellt werden, die mit einem Viewer auf anderen Rechnern geöffnet wird und somit eine Weitergabe des Modells ermöglicht. Aber auch Analysefunktionen wie die Distanzmessung, die Bestimmung der Hangneigung oder der Exposition sind möglich. Derzeit wird die Version 2009 eingesetzt, diese soll jedoch kurzfristig durch die 2011er Version ersetzt werden.

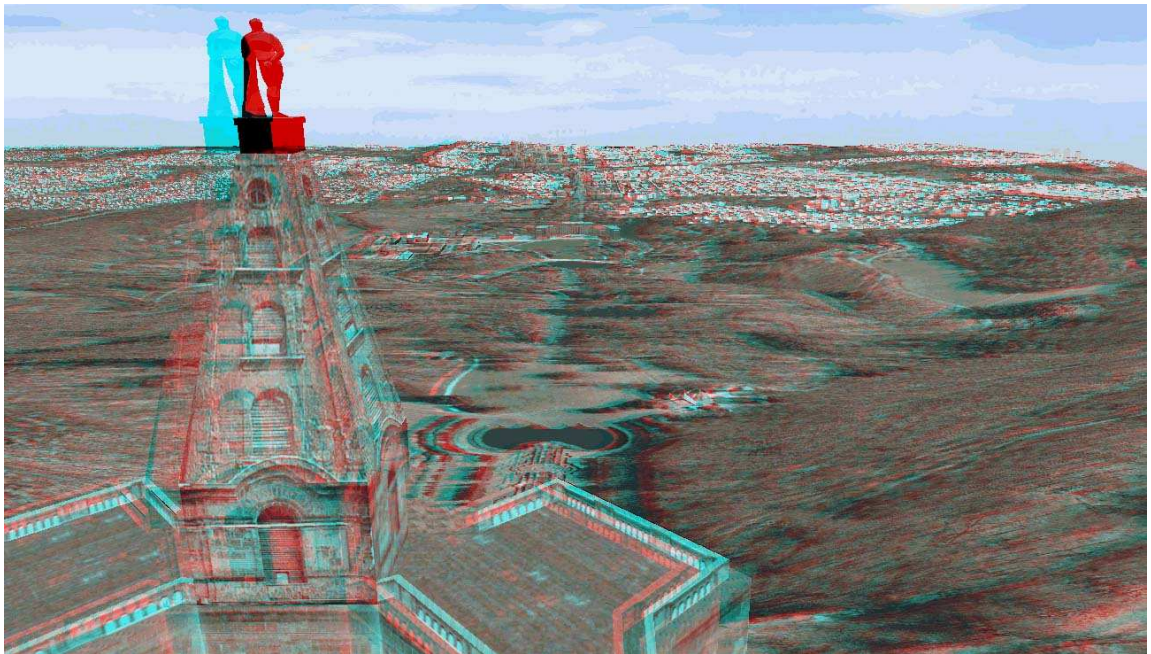


Abbildung 17: Anhand eines Anaglyphenbildes können mit einer Rot-Grün Brille 3D Effekte wahrgenommen werden.

3.5.4 Adobe Photoshop CS4

Adobe Photoshop ist ein kommerzielles Graphikprogramm, das vor allem im Bereich der professionellen Bildbearbeitung Anwendung findet. Im Jahr 1988 von der Firma Adobe Systems übernommen, wird es hauptsächlich für Bearbeitungen in der Druckvorstufe verwendet. Durch die große Auswahl verschiedener Funktionalitäten, wird es bereits in zunehmendem Maße auch für Projekte im Bereich des Internet eingesetzt, wobei durch die Verwendung der Funktion „Stapelverarbeitung“ eine automatisierte und zeitsparende Bearbeitung möglich wird. Das haus eigene PSD-Format besitzt den Vorteil der weltweiten Nutzung und hat sich als Quasi-Standard durchgesetzt. Seit dem Jahr 2003 ist Photoshop Bestandteil der Adobe Creative Suite (CS), ein Softwarepaket, das aus weiteren Programmen wie Acrobat, Illustrator oder In

Design besteht und gleichermaßen auf den Betriebssystemen Mac OS und Microsoft Windows läuft. Durch ein Zusammenspiel verschiedener Formate kann beispielsweise die PSD-Datei auf einfachem Weg in andere Komponenten der Creative Suite eingelesen werden. Im Umkehrschluss ist es ebenfalls möglich PDF-Dateien in Photoshop zu importieren und zu bearbeiten. Neben der Vollversion, die sich in eine Basic und eine Extended Version aufteilt, sind noch weitere Versionen vorhanden, die für spezielle Nutzergruppen konzipiert wurden. Hier sind vor allem Photoshop Elements, Lightroom und Photoshop Express zu nennen.

Im Rahmen dieses Projektes wurde mit der Version Photoshop CS4 gearbeitet und für nachstehende Bearbeitungen eingesetzt.

- Visualisierung von Rasterdateien
- Konvertierung von Luftbildern
- Entzerrung von Fassadenfotos
- Zurechtschneiden der Fassadenfotos
- Retuschieren störender Objekte
- Farb- und Tonwertkorrekturen
- Verringerung der Rasterdateigröße

3.5.5 Google SketchUp 7

Google SketchUp 7 ist eine Software zur Erstellung von dreidimensionalen Modellen. SketchUp wurde bereits im Jahre 1999 für den Architekturbereich entwickelt und 2006 von der Firma Google Inc. übernommen. Ein Hauptgrund der Übernahme war die einfache Implementierung von 3D Modellen in Google Earth über das KMZ-Format. Weitere Funktionalitäten bestehen in der Möglichkeit zur Erstellung von Bildern und Animationen und der relativ einfachen Handhabung des Programms. Darüber hinaus besitzt die Software vielfältige Import- und Exportfunktionen, die teilweise nur mit der kostenpflichtigen „Pro“ Version genutzt werden können. Auch wenn SketchUp nicht als Spartensoftware anzusehen ist, können dennoch repräsentierbare und professionelle Ergebnisse erzielt werden.

In Verbindung mit diesem Projekt wurde SketchUp zur Ausmodellierung von Landmarken genutzt. Neben der Modellierung von 3D Objekten, konnte das Programm ebenfalls als Konvertierungswerkzeug eingesetzt werden. Konkret wurden SketchUp-Modelle in ein 3DS-Format umgewandelt, um diese anschließend in den LandXplorer zu importieren.

3.5.6 3D Stadtmodeler

Der 3D Stadtmodeler ist eine ArcGIS Erweiterung der Firma IPSyscon, die über eine Werkzeugleiste abrufbar ist. Die Software wird zur Erstellung von Dachaufsätzen für Gebäudeklötzchen verwendet, die von ArcScene als 3D Shapedatei importiert werden können. Innerhalb der Vorprojektphase war geplant, den Stadtmodeler als Basistool zur Gebäudeerstellung einzusetzen. Da das Stadtmodell gegenwärtig mit Hilfe des LandXplorers visualisiert wird, wurde der Stadtmodeler nur selten eingesetzt. Derzeit wird die Software zur Erzeugung von einzelnen 3D Gebäuden mit Dachaufsätzen und zur Vereinfachung der Gebäudegrundgeometrie durch ein integriertes „Cleaning-Tool“ verwendet. Daher nimmt die Software dennoch einen kleinen Stellenwert in diesem Projekt ein.

3.5.7 Windows Movie Maker

Movie Maker ist eine Software zur Erstellung und Bearbeitung von Video- und Audiodateien. Es enthält Funktionen wie Effektübergänge, Titelgestaltung oder die Integration von Audiospuren. Darüber hinaus können weitere Effekte und Übergänge anhand eines XML-Codes modifiziert oder hinzugefügt werden.

Das von Microsoft entwickelte Programm wurde im Jahr 2000 erstmals in Windows ME eingegliedert und war bis zu Windows Vista in jedem nachfolgenden Betriebssystem integriert. Das Layout besteht aus einer Storyboard- und Timeline-Ansicht. Bei der Storyboard Ansicht erscheint das Video-Projekt in Abbildung eines Filmstreifens. Das Filmmaterial kann hierbei durch eine Drag & Drop Funktion in die Software importiert werden. Dabei können Video- und Audioformate wie AVI, WMV, WMA, WAV oder MPEG gelesen und bearbeitet werden. Die Geschwindigkeit der Bearbeitung ist allerdings sehr stark abhängig von der Datei-Fragmentierung und der

Festplattenauslastung. Die Exportfunktion beschränkt sich hingegen nur auf Windows Media Videoformate (WMV) oder dem unkomprimierten AVI-Format. Mit der Version Windows7 wurde Movie Maker ausgegliedert und kann seitdem nur noch unter dem Namen Windows Live Movie Maker als Download auf der Microsoft Website bezogen werden.

Im Rahmen des Projekts wurde Movie Maker für den Übergang mehrerer Videosequenzen eingesetzt. Dabei wurden die im LandXplorer erzeugten Videodateien importiert und gemäß den Vorgaben weitergestaltet. Die Sequenzen konnten schließlich als eine einheitliche Videodatei abgespeichert und exportiert werden.

3.5.8 FME

Die FME Software (Feature Manipulation Engine) der Firma Safe mit dem deutschen Vertriebspartner Conterra ist ein umfangreiches Werkzeug zur effizienten Verarbeitung von raumbezogenen Daten. Mit der Möglichkeit über zweihundert unterschiedliche Datenformate im GIS- und CAD-Bereich, sowie für Web-Services, räumlichen Datenbanken und im 3D Bereich zu importieren und umzuwandeln, ist die FME ein sehr mächtiges Konvertierungswerkzeug. Dabei werden die Daten während des Imports in ein neutrales, internes Format überführt und können infolgedessen formatunabhängig bearbeitet und verändert werden, bevor diese in ein beliebiges Zielformat konvertiert werden. Darüber hinaus bietet sich die FME für eine Koordinatentransformation in ETRS89/UTM an, das derzeit viele kommunale Vermessungsverwaltungen und private Ingenieurbüros beschäftigt.

Die FME wurde bereits 2009 zu Probezwecken erworben, und wird seit 2010 für Koordinatentransformationen und Konvertierungen eingesetzt. Da derzeit noch sämtliche 3D Daten im deutschen Gauß-Krüger-Koordinatensystem vorliegen, wird eine Transformation auf ETRS89/UTM wahrscheinlich noch im Jahr 2010 erfolgen. Jedoch wurde festgestellt, dass die derzeitige Version von 2010 noch nicht in der Lage ist, SketchUp-Dateien in das 3DS- oder PDF-Format zu übertragen. Hierfür gibt es derzeit nur lesenden Zugriff. Möglichkeiten zum Export und Import von CityGML-Dateien sind noch zu prüfen. Es soll jedoch laut Aussage des Herstellers die

Möglichkeit zur Konvertierung implementiert werden. Nach CONTERRA, 2010 können mit der FME folgende Operationen durchgeführt werden.

- Datenmodellierung mittels graphischer Benutzeroberfläche
- komplexe Datenveredlung
- Geoprocessing
- effiziente Automatisierung
- Vektor- und Rasterdatenverarbeitung
- Schema-Matching
- Qualitätssicherung
- Unterstützung von 3D Formaten (z.B. KML, CityGML, VRML)

4 Lösungsansatz

Eine wesentliche Herausforderung zur Erstellung eines 3D Stadtmodells liegt an der Tatsache, dass eine Vielzahl verschiedener Daten, die aus unterschiedlichen Quellen stammen, zuerst vereinheitlicht werden müssen. Um diese Daten handhaben zu können, musste zuerst eine Prozesskette erstellt werden, die einen Überblick über die praktische Durchführung aufzeigt (siehe Abbildung 18).

Im folgenden Modell ist daher zu erkennen, dass die unterschiedlichen Daten jeweils mit verschiedenen GIS- und Graphiksystemen zuerst aufbereitet und anschließend umgewandelt werden müssen. Dabei werden verschiedene Konvertierungsprozesse durchgeführt, um die Daten in die zentrale Visualisierungssoftware (LandXplorer) zu integrieren. Nach Abschluss dieser Vorgänge kann somit ein 3D Stadtmodell erstellt werden, das im letzten Schritt über unterschiedliche Schnittstellen benutzerbezogen exportiert werden kann.

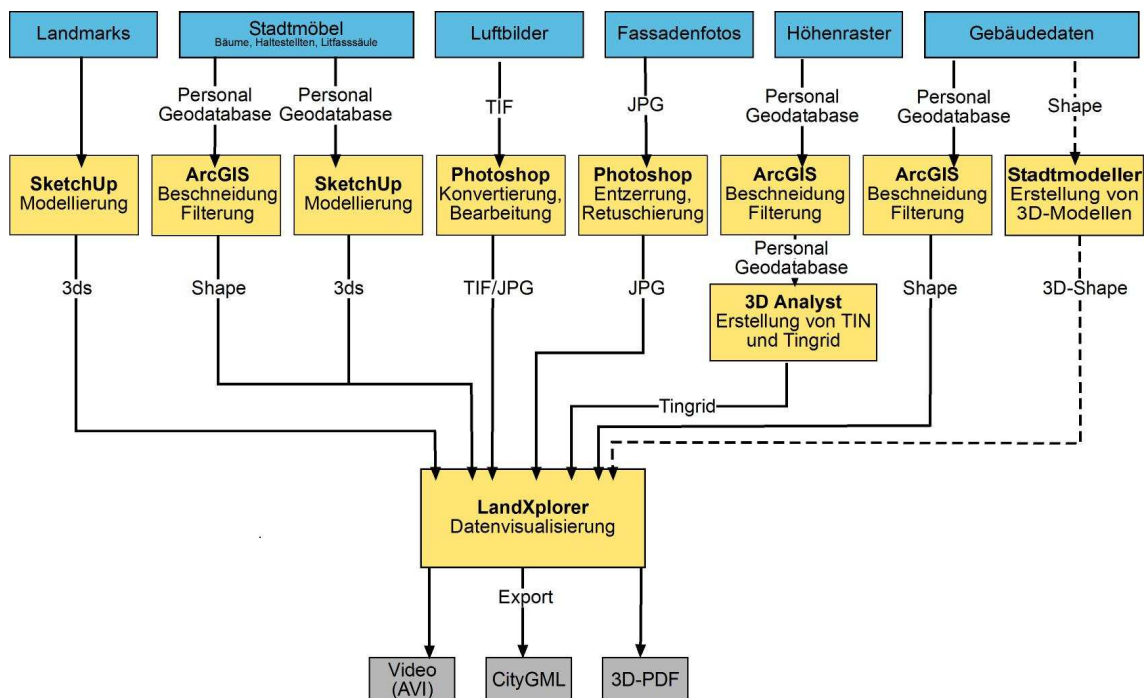


Abbildung 18: Der Workflow zum fertigen Modell.

4.1 Überblick

Bevor mit der Implementierung und Umsetzung des Projektes begonnen werden konnte, mussten Rahmenbedingen geschaffen und Vorbereitungen getroffen werden, um eine erfolgreiche Projektdurchführung zu garantieren. Diese sind im Folgenden aufgelistet.

- Die benötigte Anwendungssoftware wurde beschafft und installiert.
- Die aktuellen Luftbilder wurden ausgewertet und liegen als entzerrte Orthophotos vor
- Ein Höhenraster wurde flächendeckend erfasst.
- Die Grundlagendaten wurden aktualisiert und sind mit der neuen Software kompatibel.
- Die Gebäudedatenbank wurde vervollständigt und mit Gebäudehöhen, den Gebäudetypen sowie den Dachformen flächendeckend ergänzt
- Die benötigten Stadtmöbel wurden von den beteiligten Ämtern aktualisiert

4.2 Meilensteine

Obwohl die Vorbereitungen in der Vorprojektphase sorgfältig durchgeführt wurden, musste der Projektablauf den Bedingungen angepasst werden. Aufgeführt sind die hervorgetretenen Probleme und Schwierigkeiten, die bei der Verwirklichung des Projekts aufgetreten sind, sowie die entsprechenden Lösungsansätze.

- Das Ziel von allen im Stadtgebiet vorhandenen Gebäuden Fassadenfotos zu erstellen war bereits vor Projektstart nicht erreichbar – Fassadenfotos wurden auf ausgewählte Bereiche im Stadtgebiet beschränkt
- Vereinzelt waren Nachbearbeitungen beim Höhenraster erforderlich, wenn dieses an einigen Stellen zu ungenau war. (Beispiel: Bruchkanten)
- Performanceprobleme – trotz Speichererweiterung sind Bearbeitungen am Modell mit langen Rechenzeiten verbunden (Rasterdateien von Luftbildern)
- Weitreichende Einarbeitung bei der Modellierung von Landmarken in SketchUp

Für die einzelnen Schritte wurde folgender Ablauf vorgesehen

- Vorprojektphase mit Herausarbeitung der Sichtachsen
- Erstellung des Geländemodells
- Extrudieren der Gebäudeobjekte und Ergänzung der Gebäude mit Dachformen und Fassadentexturen
- Hinzufügen der Stadtmöbel (Bäume, etc.)
- Ausmodellierung von Kirchen und weiteren markanten Gebäuden und Integration der Landmarken in das Modell
- Erzeugung von Videodateien

5 Vorgehensweise und Umsetzung

5.1 Einleitung

Um ein Stadtmodell aufbauen zu können, bedarf es zunächst verschiedener grundlegender Konzepte und Vorarbeiten. Ein Schwerpunkt beim Aufbau des Bergparkmodells lag in der Darstellung der Straßenzüge, die als Sichtachsen zum Bergpark dienen. Durch den Einsatz von Sichtbarkeitsanalysen konnten drei Hauptachsen im Stadtgebiet herausgearbeitet werden.

- Wilhelmshöher Allee (zentrale Hauptachse)
- Friedrich-Ebert-Straße (Hauptachse)
- Goethestraße (Hauptachse)

5.2 Erstellung des Geländemodells (DGM)

Als Grundlage für ein 3D Stadtmodell muss die Topographie in Form eines Digitalen Geländemodells (DGM) erfasst werden. Hierzu wurde in Zusammenhang mit einem Luftbildflug das Gelände stereoskopisch erfasst und ausgewertet. In Verbindung mit dieser Erfassung wurde eine Koordinatendatei mit NHN-Höhen geliefert, die als 12,5 Meter Punktraster-Datei im GIS dargestellt werden konnte. Mit dieser Grundlage (Höhenmodell) bestand nun die Möglichkeit die Geländemodelle abschnittsweise zu erzeugen.

Um die Sichtachsen zum Bergpark optimal präsentieren zu können, wurde für das Projekt der Welterbeanmeldung ein Geländemodell mit den Ausmaßen von 6km x 6km (36km²) erstellt. Das Geländemodell für den Innenstadtbereich wurde mit den Ausmaßen von 9 Quadratkilometern (3km x 3km) konzipiert. Bei der Abgrenzung der beiden Modelle wurde darauf geachtet, dass ein nahtloser Übergang vom Bergparkmodell im Westen zum Innenstadtmodell vorhanden ist und relevante und markante öffentliche Gebäude und natürliche Begebenheiten innerhalb dieser Modelle liegen.

5.2.1 TIN

Das TIN (Triangular Irregular Network) ist die Grundlage des Gelände- oder Höhenmodells. Vorwiegend wurde das TIN in Form einer Dreiecksvermaschung aus den Rasterpunkten (Massenpunkte) des zu Grunde liegenden Höhenrasters berechnet. Die Genauigkeit eines TINs ist abhängig von der Rasterweite des jeweiligen Höhenrasters. Anhand des TINs kann beispielsweise die Höhe (Elevation), die Hangneigung (Slope) oder die Richtung der Hangneigung (Aspect) (in Grad) dargestellt werden. Das TIN dient als Basis für verschiedenste 3D Anwendungen, mit denen sich vielfältige Aussagen zur Geländeübersicht treffen lassen (*siehe Abbildung 19*).

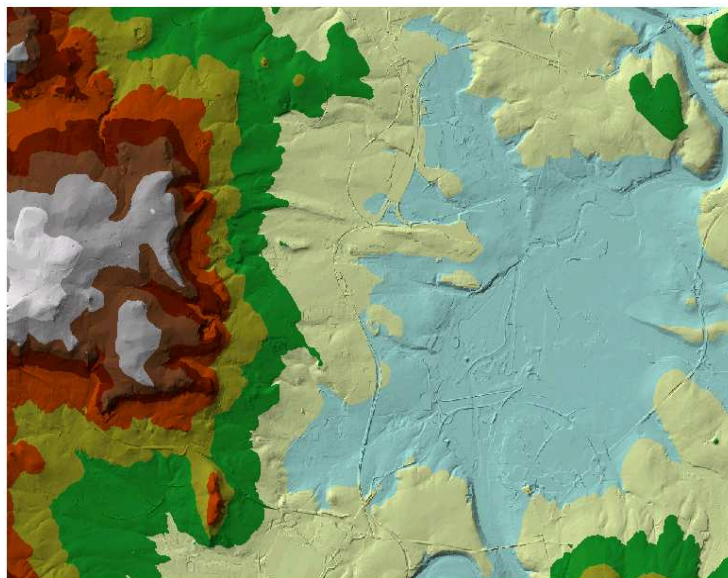


Abbildung 19: Das TIN des Kasseler Beckens mit den Höhenschichten zwischen 133 und 616 Metern. Im Westen sind die Erhebungen des Habichtswalds zu erkennen.

5.2.2 Tingrid

Das Tingrid ist eine Rasterdatei basierend auf den Höhenangaben des TINs. Es wurde als Grundlage zur Visualisierung der Geländemodelle erstellt und bildet das abschließende Element zur Geländemodellierung. Im Allgemeinen ist ein Tingrid performanter zu handhaben, da jedem Pixelwert eine entsprechende Höheninformation aus dem TIN zugeordnet wurde. Die Genauigkeit des Tingrids ist jedoch abhängig von der Vermaschung des TINs und der eigenen Rasterauflösung. Je nach Rasterweite ist die Dateigröße daher steil angewachsen. Demzufolge bedurfte es einiger Konzepte für welche Anwendungen das Tingrid erstellt werden soll (*siehe Tabelle 3*).

Tabelle 3: Darstellung und Speicherverbrauch unterschiedlicher Rasterweiten von Tingrids. Das Tingrid von Darmstadt wurde im Rahmen eines Dienstleistungsauftrages ebenfalls berechnet.

	10m	5m	1m
Kassel	25,65 MB	107,00 MB	--
Kassel-Bergpark	12,38 MB	52,80 MB	--
Kassel-Innenstadt	2,38 MB	10,20 MB	35,20 MB
Darmstadt	10,50 MB	41,90 MB	978,00 MB

Für den relativ großen Bereich des Bergparkmodells wurde ein Tingrid mit einer Rasterweite von „nur“ 10m erstellt. Da dieser Bereich einen sehr großen Teil des Stadtgebietes abdeckt, musste die Rasterweite aufgrund mangelnder Rechenleistung niedrig gehalten werden (*siehe Abbildung 20*).

Im Gegensatz dazu konnte das Innenstadtmodell sehr hochauflösend in einer 1m Rasterweite erstellt werden. Das liegt zum einen daran, dass der Ausschnitt im Innenstadtbereich wesentlich kleiner ist als der des Bergparkmodells, zum anderen wurde versucht die Innenstadt detaillierter darzustellen als die Außenbezirke der Stadt, so dass eine höhere Qualität durchaus gerechtfertigt ist.

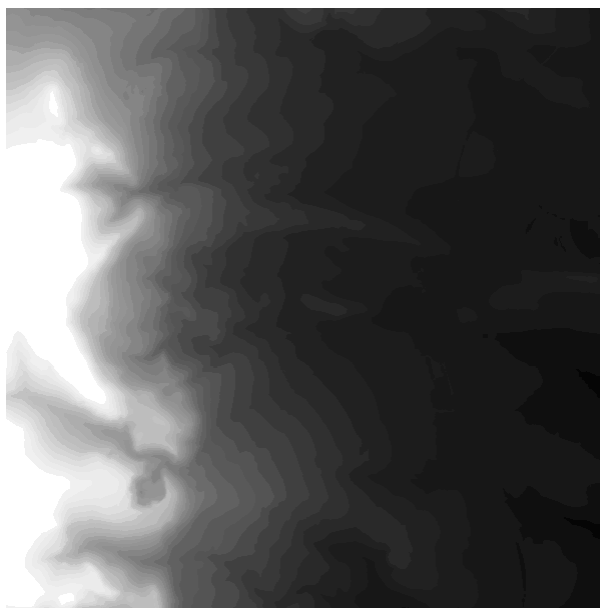


Abbildung 20: Das Tingrid des Bergparkmodells, das die unterschiedlichen Höhenschichten darstellt (165–593 Meter).

5.2.3 Bruchkanten

Wie in Kapitel 5.2.1 bereits erwähnt, entsteht ein TIN aus einer Dreiecksvermaschung benachbarter Höhenpunkte. Durch diese Vermaschung konnten die Rasterpunkte im Abstand von 12,5 Metern miteinander verbunden werden. Die Höhendifferenz zwischen den beiden Rasterpunkten wurde dabei interpoliert. Durch die Darstellung der Bruchkanten (harte Kante) konnte diese Interpolation nun unterbunden werden und eine Steilwand innerhalb des TINs entstand. Die Bruchkanten sind für ein Geländemodell wichtig, da diese beispielsweise steile Abhänge, Rampen oder Brücken im Modell mit berücksichtigen und das Modell authentischer wirken lassen (*siehe Abbildung 21*).

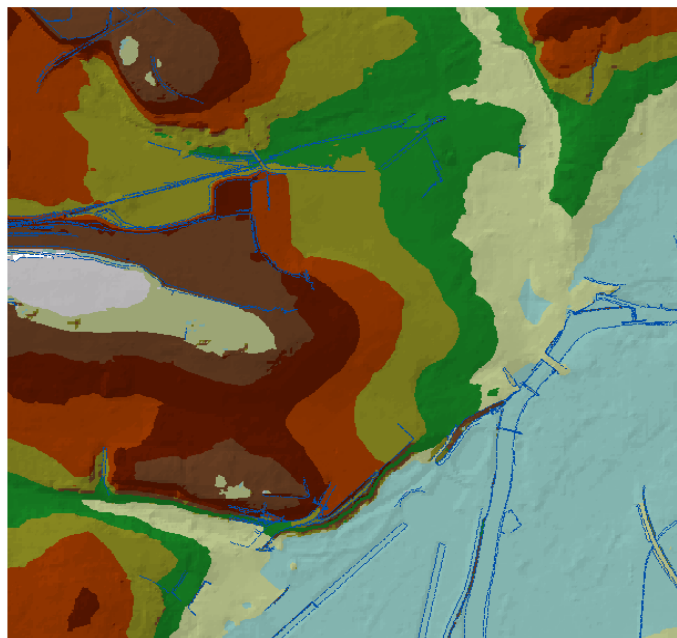


Abbildung 21: Das TIN des Innenstadtmodells mit den Bruchkanten (dunkelblau) und den Höhenlagen zwischen 136 und 195 Metern.

5.3 Visualisierung des DGMs

Nach der Erstellung eines Tingrids konnte dieses als Geländemodell in den LandXplorer importiert werden. Um ein Modell möglichst realitätsnahe abzubilden, sollte bei einer bergigen Topographie auf eine Überhöhung verzichtet werden (*siehe Abbildung 22*). Bei einem eher flacheren Gelände kann das Modell eine geringe Überhöhung aufweisen.

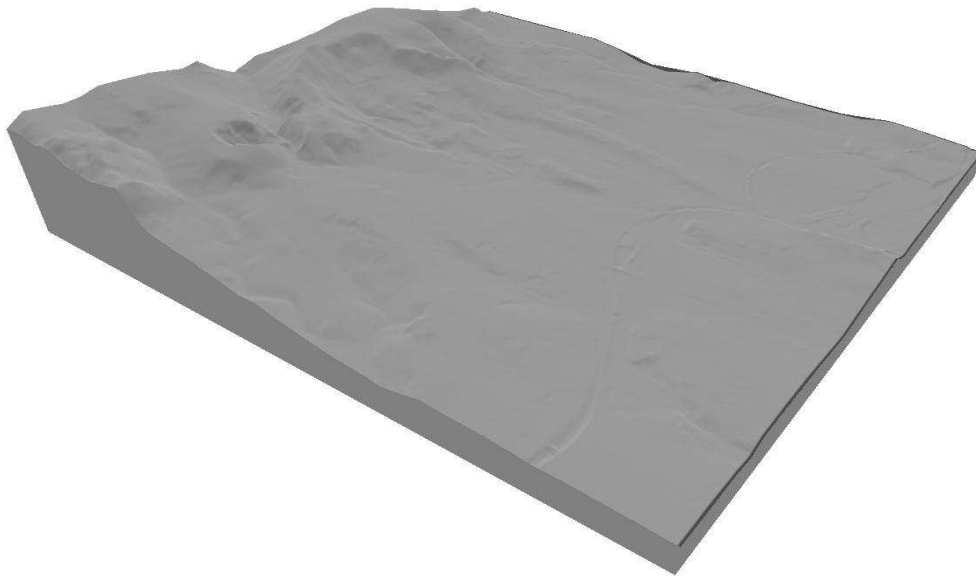


Abbildung 22: Ausschnitt aus dem Bergparkmodell. Im Hintergrund sind die Erhöhungen des Habichtswaldes zu erkennen.

5.4 Hinzufügen eines Rasterlayers

Für den Aufbau des Stadtmodells konnte das Geländemodell mit einem Orthophoto unterlegt werden (siehe Abbildung 23), das aus unterschiedlichen Luftbildkacheln berechnet und bei dem Bildflug vom Frühjahr 2009 aufgenommen wurde. Optional besteht ebenfalls die Möglichkeit das Gelände voll auszumodellieren und hiermit die annähernde Realität durch Vektordaten wiederzugeben.

Für die Modelle wurden die Luftbildkacheln im Ausschnitt von 500 x 500m inkrementell hinzuimportiert. Obwohl jede dieser Kacheln mit einer unkomprimierten Größe von 73 MB und einer Auflösung von 10cm vorlagen, war es möglich, diese einzuladen und zu visualisieren. In einem späteren Schritt hingegen wurden die TIF-Dateien in das komprimierte ECW-Datenformat umgewandelt, um den Speicherbedarf weiter zu reduzieren und die Performance zu erhöhen.

Die Orthophotos wurden für die Arbeiten im 2D GIS entzerrt. Wird nun eine 2D Aufnahme auf einer dreidimensionalen Oberfläche abgebildet, so wird das Orthophoto, bedingt durch die Niveauänderung des Geländes, erneut verzerrt dargestellt. Dies ist vor allem im Bereich der Bruchkanten zu erkennen, da hier ein starker Höhenunterschied

vorhanden ist. Aber auch in stark kuperten Bereichen der Stadt lassen sich Verzerrungen im Luftbild nicht ausschließen.

Obwohl diese Darstellung in Einzelbereichen nicht zufriedenstellend ist, erhöht das Luftbild den Wiedererkennungswert im Stadtgebiet. Daher ist ein aktuelles Luftbild die beste Wahl für den erstmaligen Aufbau eines 3D Modells.

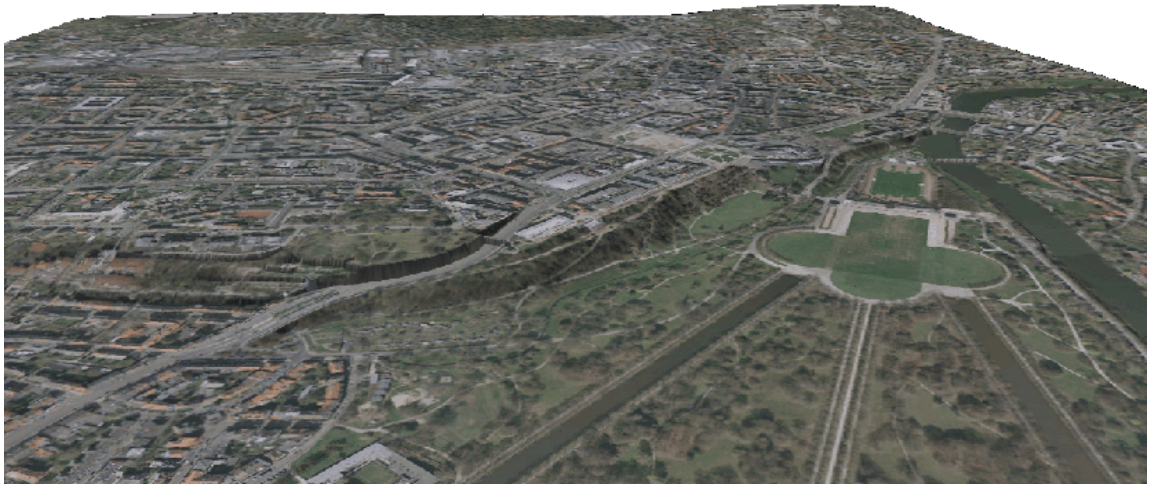


Abbildung 23: Das Gelände des Innenstadtmodells mit aufgelegtem Luftbild.

5.4.1 Optionale Verwendung der Flächenobjekte

In einem weiteren Schritt ist es angedacht die Luftbilder durch vektorisierte Flächenobjekte zu ersetzen (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Darstellung der unterschiedlichen Flächenarten, die vektorisiert vorliegen.

Flächenart	Flächendefinition
Dachflächen	Alle Gebäude und Garagen (öffentlich und privat)
Öffentliche Verkehrsfläche, befestigt	Straßen, Radweg, Fußweg, Plätze im Straßenbereich, Parkplätze
Grünfläche	Unbefestigte öffentliche / private Fläche, Kleingärten, Friedhöfe, Parkanlagen, unbefestigte Plätze

Befestigte Nebenflächen	Gebäudezuwege, Hof- und Garagenauffahrten, Terrassen, Schulhöfe, befestigte Spielplätze, befestigte öffentliche / private Flächen
Fließgewässer	Wasserfläche der Fließgewässer, Bäche
See	Wasserfläche der stehenden Gewässer
Sonstige Flächen	Flächen, die nicht eindeutig in die oberen Kategorien einzuordnen sind, z.B. Schotterflächen und größere Baustellen

Die Stadt Kassel verfügt flächendeckend über eine Datenbank von Versiegelungsflächen im urbanen Bereich. Mit Hilfe dieser Daten besteht die Möglichkeit, Aussagen über die Nutzung der jeweiligen Fläche zu erhalten und diese entsprechend zu visualisieren. Durch das Ersetzen der teils speicherintensiven Rasterdaten werden ein besseres Antwortverhalten und ein schnellerer Bildaufbau des Systems erwartet. Jedoch bleibt abzuwarten, inwieweit die Visualisierung mit den Vektorflächen den Wiedererkennungswert des Modells in einigen markanten Bereichen der Stadt widerspiegelt (siehe Abbildung 24).



Abbildung 24: Ein erster Versuch, um Luftbilder durch vektorisierte Flächenobjekte zu ersetzen (optional).

5.4.2 Historische Bilder

Auch im Hinblick auf die Historie wurden bereits Entwürfe vorgestellt. Da sich das Stadtbild nach dem Zweiten Weltkrieg weitgehend verändert hat, können hier gute Vergleiche zwischen der aktuellen Bebauung und den historischen Luftaufnahmen gezogen werden. Gerade im Fall der Stadt Kassel wurden neben der Verbreiterung von Straßenzügen auch vollständig neue Straßenachsen für eine damals autogerechte Stadt gebaut. Im vorliegenden Beispiel wurde ein Luftbild aus dem Jahr 1928 auf das Geländemodell im Innenstadtbereich gelegt. Mit Hilfe einer Linsenfunktion können nun Vergleiche zwischen der neuen Stadtgeometrie und den historischen Luftaufnahmen durchgeführt werden (*siehe Abbildung 25*).

Zwar ist die Möglichkeit einer Vergleichbarkeit zwischen den Epochen sehr nutzbringend, jedoch muss hinzugefügt werden, dass eine historische Aufnahme auf ein aktuelles Geländemodell gelegt wurde. Zwar verändert sich das Gelände in einer erdgeschichtlich kurzen Zeitspanne nicht sehr stark, jedoch ist der menschliche Eingriff der letzten 80 Jahre zu berücksichtigen. Daher gibt es Differenzen zwischen Geländemodell und historischer Luftaufnahme beispielsweise bei aktuellen Bruchkanten, wie Straßen, Rampen oder neuen Brücken. Aber auch im Bereich von Steinbrüchen, die in der Vorkriegszeit nicht oder erst teilweise vorhanden waren, stimmt das Gelände mit der historischen Aufnahme nicht überein.

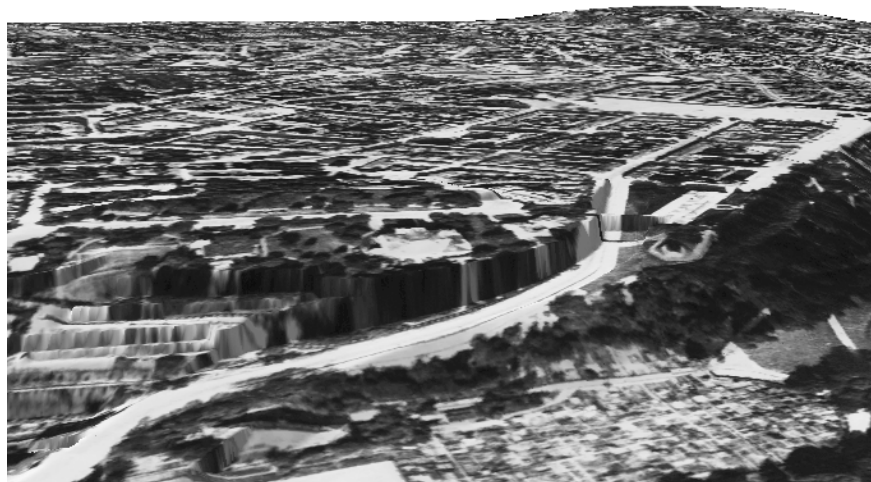


Abbildung 25: Am Weinberg (links unten) lässt sich gut erkennen, dass die historische Luftaufnahme nicht auf das aktuelle Geländemodell passt.

5.5 Integration der Gebäude

Ein wichtiger Bestandteil eines 3D Stadtmodells ist die Bebauung. Für die Darstellung der Gebäude im Modell wurden als Grundlagendaten ALK-Daten verwendet, die durch Daten der Gebäudedatenbank ergänzt wurden. Die ALK-Daten eignen sich aufgrund verschiedenster Eigenschaften nahezu perfekt als Grundriss für die Gebäude (vgl. PINA et al., 2009).

5.5.1 Gebäudedatenbank

Die Gebäudedatenbank besteht zum überwiegenden Teil aus der Gebäudegeometrie der ALK-Daten, die derzeit noch als „Personal Geodatabase“ (MDB) vorliegt. Ergänzende Informationen werden der ALK über den Objektschlüssel (Primärschlüssel) angehängt, so dass zusätzliche Felder detaillierte Auskunft über das jeweilige Gebäude oder den Gebäudeteil geben können. Unter anderen enthält die Gebäudedatenbank Angaben zur Gebäudehöhe oder zum Dachtyp. Aber auch Informationen über die NHN-Höhe am Gebäudefuß sind gegeben.

Gebäudehöhe

Die Gebäudehöhe (Firsthöhe) setzt sich aus der Trauf- und der Dachhöhe zusammen (siehe Abbildung 26). Im Rahmen eines bereits vorangegangenen Projektes wurde allen hausnummernrelevanten Gebäuden eine Traufhöhe zugeordnet. Diese Werte wurden überschlägig aus der Anzahl der Stockwerke ermittelt. Hierbei wurde auch das Alter des Hauses berücksichtigt. Nur für die wenigsten Gebäude liegt derzeit eine gemessene Höhe vor. Neben den Traufhöhen wurde die Höhe des Daches bestimmt. Mit diesen Informationen kann nun die Firsthöhe des Hauses berechnet werden. Für ein durchschnittliches Wohn-/Geschäftshaus wurde dabei folgende Formel verwendet.

Sockelhöhe	0,8 Meter
Höhe eines Stockwerks	3,0 Meter
Dachhöhe	4,5 Meter

Ein zweigeschossiges Gebäude besitzt daher eine Gesamthöhe von 11,30 Meter. Für großflächige Industriegebäude und (Sport)Hallen mit Flachdächern wurden entsprechend andere Kriterien zu Grunde gelegt.

Da nur hausnummernrelevanten Gebäuden eine Höhe zugeordnet wurde, besitzen beispielsweise Anbauten oder Garagen keine eigene Höhe. Diese werden mit einer Standardhöhe ausgewiesen (z.B. Garage = 3 Meter)

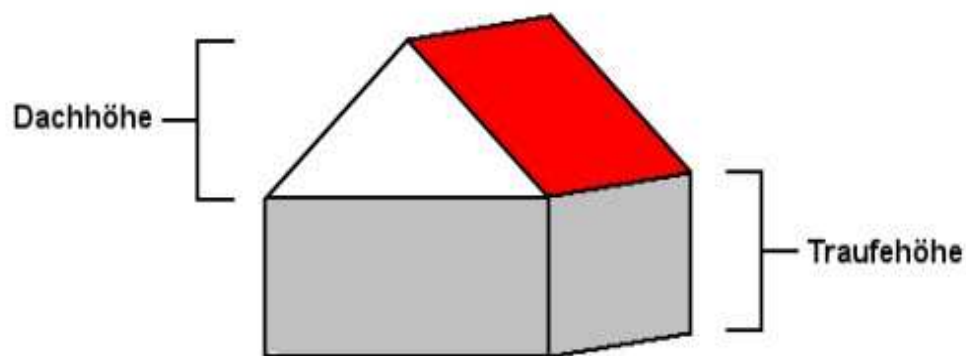


Abbildung 26: Schematische Darstellung der Trauf- und Firsthöhe eines Gebäudes;
Quelle: Handbuch zur Software 3D Stadtmodeller (IP Syscon)

Dachtyp

Der Dachtyp wurde in einer visuellen Auswertung für Teilbereiche der Stadt bestimmt. Hier wurden systematisch sämtliche Dächer eines Stadtteils anhand aktueller Luftbilder bestimmt. Für die Auswertung wurden die Dächer zuerst in unterschiedliche Klassen eingeteilt und später nochmals in verschiedene Unterklassen zergliedert (z.B. Dach > Walmdach > Krüppelwalmdach). Jedem spezifischen Dachtyp wurde dabei ein selbstdefinierter vierstelliger Zahlencode zugeordnet (siehe

Tabelle 5).

Da jedoch nicht jedes Dach mit der ursprünglichen ALK-Geometrie übereinstimmt, müssen die Differenzen zwischen Gebäudegeometrie und Dachform für einige Objekte hinsichtlich des 3D Modells gesondert behandelt werden.

Tabelle 5: Übersicht der verschiedenen Dachtypen

Dachtyp	Rooftype	Code
Tonnendach	Barrel Roof	5100
Satteldach	Gabled Roof	2000
Walmdach	Hipped Roof	3100
Walmdach Halbform	Half Hipped Roof	3000
Mansardendach	Mansard Roof	2100
Pulldach	Pent Roof	1200
Zeltdach	Tent Roof	4000

NHN-Höhe

Durch das vorhandene Höhenmodell lagen bereits flächendeckend die NHN-Höhen als Rasterpunkte vor. Über die X/Y-Koordinaten bestand nun die Möglichkeit die Höhe des Gebäudepolygons am Schwerpunkt der Gebäudefläche zu ermitteln. Mit diesem Arbeitsschritt war es nun möglich, den Gebäuden einen dreidimensionalen Bezug im Gelände zu geben, um diese auch für andere 3D Projekte zu verwenden.

Wie zuvor bereits erläutert, besteht die Gebäudedatenbank aus Grundlagendaten der ALK, die in Hessen von den zuständigen Katasterämtern (Ämter für Bodenordnung (AfB)) an die Nutzer abgegeben werden. Obwohl die Daten einem fortlaufenden Aktualisierungsprozess unterliegen, können einzelne Datensätze jedoch veraltet sein. Daher war es notwendig zusätzliche (provisorische) Gebäude in die Datenbank zu integrieren, um einen aktuellen Datenbestand im Stadtgebiet sicherzustellen.

Die künftige Umstellung von ALK- auf ALKIS-Daten werden auch die Arbeiten am 3D Stadtmodell geringfügig verändern. So ist es angedacht, die Gebäudedatenbank mit den ALKIS Datenbeständen zu homogenisieren und ein neues Aktualisierungskonzept zu erstellen.

5.6 Extrusion der Gebäude

Bevor die 2D Gebäudegrundrisse zu 3D Klötzchen transformiert werden, sollte für jeden Gebäudedatenbestand kontrolliert werden, ob entbehrliche Stützpunkte (Vertex) Bestandteil der Gebäudepolygone sind. Nach der Extrusion der Gebäudegrundrisse werden zwischen den Stützpunkten einzelne Wandflächen gebildet, die in einem späteren Schritt mit Texturen ausgestattet werden können (*siehe Abbildung 27*). Um nicht benötigte Stützpunkte automatisiert zu entfernen, wurde daher das „Cleaning-Tool“ des Stadtmodellers eingesetzt.



Abbildung 27: Ausschnitt in Richtung Königsplatz. Jeder einzelnen Klötzchenfläche (Wand) kann eine Textur zugeordnet werden.

Derzeit werden die Gebäudedaten noch aus einer konvertierten Shapedatei der Gebäudedatenbank in das Modell integriert. Beim Import wird das Feld „Gebäudehöhe“ jedem einzelnen Objekt zugeordnet, so dass diese in unterschiedlicher Höhe als Klötzchen auf dem Geländemodell dargestellt werden. Dabei wird die Höhe des Klötzchens am untersten Punkt des Objekts bestimmt. Liegt daher ein Gebäude an einem Steilhang, so dient die tiefste Stelle des Geländemodells als Basis für die Höhe des Klötzchens. Das bedeutet, dass ein Teil des quaderförmigen Klötzchens im Geländemodell verschwindet, und für den Betrachter nicht einsehbar ist (*siehe Abbildung 28*).

In einem zweiten Schritt werden die Dachtypen bestimmt. Hierzu besteht in der Eingabemaske die Möglichkeit den entsprechenden vierstelligen Code jedem Objekt zuzuordnen.

Optional können bereits 3D Shapedateien mit eigener 3D Geometrie eingeladen werden, die mit dem 3D Stadtmodeller erzeugt werden konnten. Diese Objekte besitzen bereits eine Trauf- und Firsthöhe, den Dachtyp und eine entsprechende NHN-Höhe und können direkt in das Modell importiert werden.

Zukünftig sollen die Gebäude direkt über eine Datenbankverbindung hinzugeladen werden. Als Verknüpfungsmöglichkeit stehen hier eine Oracle- und MySQL-Datenbank sowie eine ArcSDE Datenbankverbindung der Firma ESRI zur Verfügung. Die Integration einer „Personal Geodatabase“ in der die Gebäudedatenbank derzeit geführt wird, steht nicht zur Verfügung.

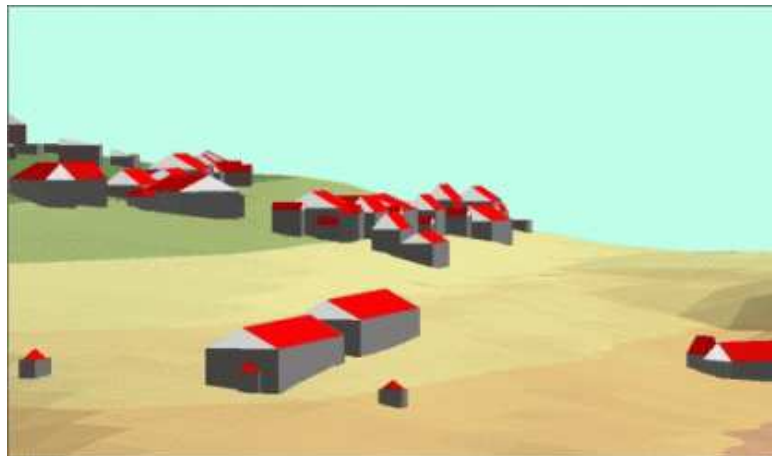


Abbildung 28: Die generierten Gebäudeklötzchen verschwinden teilweise im Gelände (schematische Darstellung); Quelle: Handbuch zur Software 3D Stadtmodeller (IP Syscon)

5.7 Modellieren der Dachformen

Durch Eingabe des vierstelligen Zahlencodes können die Dachformen automatisiert erstellt werden. Jedoch müssen nach der Visualisierung einige Dächer und Dachformen nachbearbeitet werden. Standardmäßig folgt die Trauflinie eines Daches der Längsseite des Gebäudes. Bei einer Abweichung dieser Norm muss die Dachausrichtung um 90° gedreht werden.

Auch kann es vorkommen, dass ein Dachtyp überhaupt nicht erzeugt werden kann, da das darunterliegende Klötzchen eine zu komplexe Grundrisstruktur aufweist. Es besteht zwar die Möglichkeit die Erstellung eines Dachtyps zu erzwingen, jedoch spiegeln diese Formen meistens nicht die Realität wieder.

Neben der Dachausrichtung kann auch die Dachhöhe manuell nachbearbeitet werden. So besitzen zumeist Kirchtürme eine von der Norm abweichendes hohes Spitz- oder Kegeldach. Um diese Dächer authentisch darzustellen, muss die Dachhöhe entsprechend angepasst werden.

5.8 Hinzufügen von Texturen

Auch wenn für reine Planungszwecke Texturen eher eine unterordnete Rolle besitzen, so erhöhen diese den Wiedererkennungswert eines Stadtbildes enorm. Texturen können in der Art von Farbe, Muster und Fotografien dargestellt werden. Um das Stadtmodell möglichst realistisch darstellen zu können, wurden für dieses Projekt hauptsächlich Fassadenfotos verwendet.

Um notwendige Texturen zu erhalten, wurde dabei folgendes Ablaufschema entwickelt

- Aufnahme der Fassade im Straßenraum
- Beschneiden, Entzerren und Verringerung der Auflösung des Fotos
- Säubern der Fassade von störenden Elementen
- Drapieren der Textur auf das Klötzchen

5.8.1 Aufnahmen der Fassaden im Straßenraum

Obwohl Fassaden in der Nachbearbeitung nochmals beschnitten und entzerrt werden, sollte bei der Aufnahme eines Fassadenfotos darauf geachtet werden, dass diese in einem nicht zu spitzen Winkel zur Fassade aufgenommen wurde. Das Foto sollte - wenn möglich - frontal und bei gutem Tageslicht erfolgen. Dämmerlicht und Dunkelheit verändern die Farbgebung der Fotos und sollten vermieden werden. Auch zu intensive Sonnenbestrahlung wirken sich wegen den Verschattungseffekten störend auf das Foto aus. Um eine aufwendige Nachbearbeitung zu vermeiden, sollte darauf geachtet werden, die vollständige Fassade eines Gebäudes in einer Aufnahme darzustellen. Bei hohen Gebäuden oder Türmen ist es jedoch notwendig, mehrere Aufnahmen von einer Fassade durchzuführen. Gleiches gilt ebenfalls für sehr breite Gebäude, deren Fassade aus unterschiedlichen Standpunkten aufgenommen werden müssen.

Um ein optimales Fassadenfoto zu erhalten, sollten sich möglichst keine störenden Elemente vor der Fassade befinden. Daher ist es beispielsweise angedacht, Aufnahmen in einer Fußgängerzone möglichst während den Tagesrandzeiten durchzuführen, da sich zu den Geschäftszeiten viele Menschen vor der Fassade aufhalten könnten. Gerade im Innenstadtbereich müssen vor allem die Lieferzeiten der Geschäfte beachtet werden. Gelegentlich stehen Transporter oder kleine Lastkraftwagen vor einem Geschäft, die einen Großteil der Fassade verdecken, so dass zum Teil langwierige Nachbearbeitungen notwendig sind.

Aufgrund der fehlenden Belaubung der Bäume im Spät- und Frühjahr, sollte ebenfalls darauf geachtet werden Fassadenfotos hauptsächlich in dieser Zeitperiode aufzunehmen. Die Fotos sollten jahreszeitlich neutral gehalten werden. Beispielsweise ist Schnee auf einem Vordach der Fassade zu vermeiden. Es hängt daher auch viel von der Wetterlage und dem Klima in der Stadt ab, um den idealen Zeitpunkt für ein Fassadenfoto zu bestimmen (*siehe Abbildung 29*).

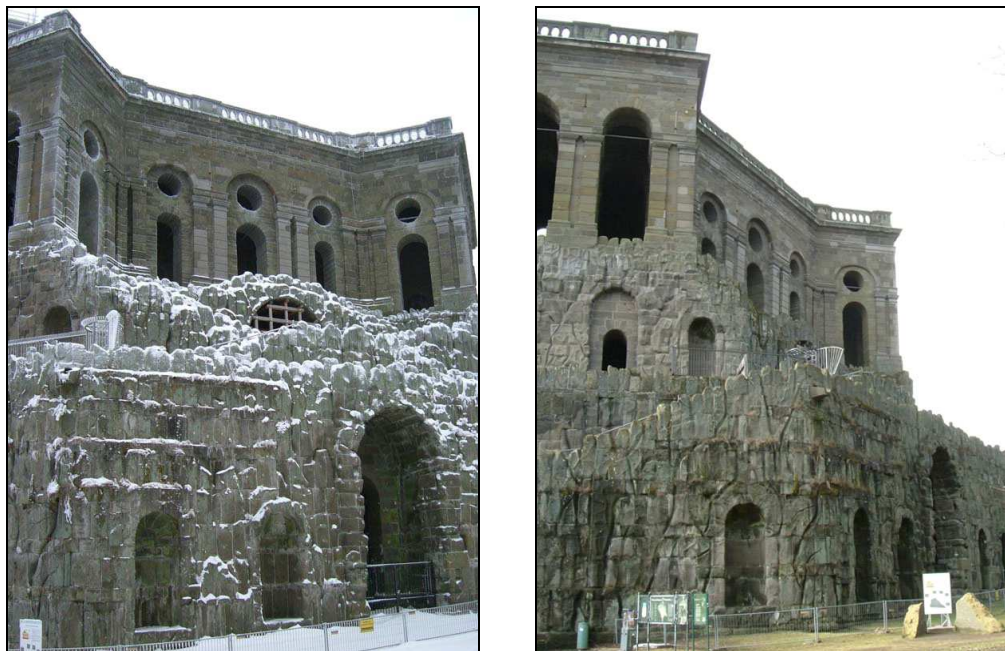


Abbildung 29: Aufnahme der Nordfassade des Herkulesbauwerks zu verschiedenen Jahreszeiten. Die mit Schnee bedeckten Mauern im Winter können nicht als Grundlage für ein 3D Modell dienen; Quelle: Stadt Kassel, Vermessung und Geoinformation

5.8.2 Entzerrung und Beschneiden der Aufnahme

Nachdem die Aufnahmen vorliegen, werden diese entzerrt und zurechtgeschnitten. Bei der Entzerrung der Aufnahme ist es wichtig, dass das Längen- zu Breitenverhältnis gewahrt bleibt, damit das Foto verzerrungsfrei auf das Klötzchen drapiert werden kann. Daher sollten die Ausmaße der realen Fassade und des Klötzchens bereits vor Nachbearbeitung der Aufnahme bekannt sein. Für gewöhnlich werden die Fassaden mit einem Bildbearbeitungsprogramm unterhalb der Traufhöhe abgeschnitten, so dass nur die reine Fassade als Textur zur Verfügung steht. Da Gebäude, wie in *Kapitel 5.6* beschrieben, an einem Hang stehen können, werden die Klötzchen an der untersten Stelle des Geländemodells erzeugt. Daher muss die Aufnahme ebenfalls an der untersten Stelle des Gebäudes beschnitten werden, so dass auch der Straßenraum im unteren Teil des fertigen Fotos zu erkennen ist. Dieser Teil taucht, wie das Gebäudeklötzchen, in das Geländemodell ein und ist für den Betrachter im 3D Modell nicht sichtbar (*siehe auch Abbildung 31*).

Wie in *Kapitel 5.8.1* erwähnt, können nicht alle Fassaden mit einer einzigen Aufnahme abgedeckt werden. Hierzu müssen mehrere Teilaufnahmen zusammengefügt werden, um eine einheitliche Fassade zu erhalten.

Abschließend sollte die Dateigröße der Aufnahme reduziert werden, um einen schnellen Bildaufbau zu gewährleisten und um den Speicherbedarf bei gleichbleibender Qualität zu reduzieren. Durch mehrmalige Anwendungen konnte ein Richtwert bestimmt werden, der ca. 100 Kilobyte für ein durchschnittliches zweigeschossiges Gebäude vorsieht. Bei einer Auflösung von 100 dpi und den Ausmaßen von ca. 10 x 10 cm sollte dieser Wert für ein JPEG-Bild ausreichend sein. Für größere, breitere und hohe Gebäudemodelle kann der Richtwert von 100 Kilobyte auch geringfügig überschritten werden.

5.8.3 Retuschieren der Fassade

Wird ein Großteil der Fassade von störenden Objekten wie parkenden Autos, Menschen, Bäumen oder Oberleitungen verdeckt, sollten die Aufnahmen nachbearbeitet werden. In diesen Fällen wurde bereits beim Entzerren und Beschneiden der Aufnahme die Original-Datei in das verlustfreie TIF-Format umgewandelt, da mehrmaliges

Abspeichern in einem JPEG-Format zu Informationsverlusten führen kann. Bei der Nachbearbeitung wurden die störenden Elemente entfernt und eine Tonwertkorrektur durchgeführt (siehe Abbildung 30). Abschließend wurde die Datei wieder in ein JPEG-Format umgewandelt und abgespeichert.

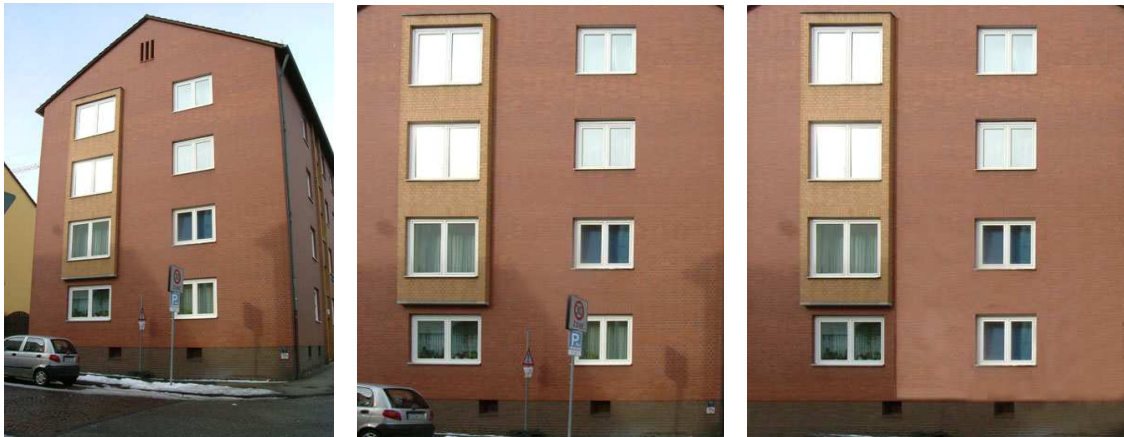


Abbildung 30: Der Weg zum fertigen Fassadenfoto. Links das aufgenommene Bild. In der Mitte die entzerrte und beschnittene Fassade, die bei Bedarf noch retuschiert werden kann (rechts).

5.8.4 Drapierung der Textur auf das Klötzchen

Wird ein entzerrtes Fassadenfoto auf eine Wand des Klötzchens drapiert, so füllt die Aufnahme die vollständige Seite aus. Das Längen- und Breitenverhältnis von Foto und Klötzchenfläche kann sich dabei leicht unterscheiden. Das bedeutet, dass das Foto entweder in der Breite oder in der Länge ein wenig verzerrt auf dem Klötzchen abgebildet wird. Da das Verhältnis zwischen Foto und Klötzchen jedoch nahezu identisch sein sollte, dürfte eine Verzerrung des Fassadenfotos nicht wahrgenommen werden können.

Wird die Höhe des Gebäudes für Planungszwecke individuell geändert, so wird das darauf liegende Fassadenfoto analog in der Höhe mit verzerrt, da die vollständige Aufnahme immer das ganze Ausmaß der Wand bedeckt.

Gebäude an einem Hang stellen auch hier ein Problem dar. Wie in Kapitel 5.6 und 5.8.2 erwähnt, wird das Gebäudeklötzchen an der tiefsten Stelle des Geländemodells erstellt. Deshalb liegt im Modell der untere Teil des Klötzchens der

hangaufwärtsgerichteten Seite im Gelände. Eine Fototextur beinhaltet jedoch nur den Teil oberhalb des Geländes. Bei der Drapierung der Textur auf das Klötzchen wird diese in der Höhe verzerrt, und ein Teil auf die unterhalb der Oberfläche liegenden Bereiche des Klötzchens abgebildet. Der unterhalb der Oberfläche liegende Bereich wird im Modell nicht dargestellt. Daher werden die Eingänge und Schaufenster im Erdgeschoss teilweise abgeschnitten (siehe Abbildung 31).



Abbildung 31: In dieser Grafik lässt sich erkennen, dass das Erdgeschoss fast vollständig im Modell verschwindet, da das Klötzchen und die darauf drapierte Fassade an der untersten Stelle des Geländes ihren Ursprung haben. In diesem Fall liegt diese auf der gegenüberliegenden Seite des Hauses.

5.9 Darstellung von Stadtmöbel

Stadtmöbel lassen ein 3D Stadtmodell realistischer wirken. Im Rahmen des Projekts konnten daher vereinzelte Signaturen für eine Stadtmöblierung erstellt werden. Derzeit werden sämtliche Objekte mit SketchUp vormodelliert und anschließend als 3DS-Dateien in das Modell integriert. Gegenwärtig sind bereits folgende Objekttypen ganz oder zumindest teilweise in die Modelle integriert.

- Bäume im öffentlichen Straßenraum
- Verkehrsschilder
- Litfaßsäulen

5.9.1 Bäume

Das Baumkataster der Stadt wird vom Umwelt- und Gartenamt für alle Bäume im öffentlichen Straßenraum sowie auf städtischen Flächen geführt. Durch die Integration dieser sogenannten Fremddaten, kann daher keine Garantie für die Vollständigkeit und Aktualität des Baumbestandes genommen werden. Im Einzelnen sind für ein 3D Modell folgende Informationen von Interesse

- Koordinaten
- Baumart
- Gattung
- Kronendurchmesser
- Durchmesser des Stammes
- Baumhöhe
- Alter des Baumes (Jahr der Anpflanzung)
- Vitalität
- Standort

Während sich die ersten sechs Kriterien direkt auf die Darstellung jedes einzelnen Baumes im Modell auswirken, dienen die drei letztgenannten lediglich als weiterführende Informationsquelle, die bei Bedarf abgefragt werden kann.

Anzumerken ist hierbei, dass das Baumkataster lediglich Bäume im öffentlichen Straßenraum darstellt, die von der Stadt direkt unterhalten werden. Bäume auf privaten Grundstücken und in den stadtnahen Waldflächen sind nicht im Kataster vorhanden. Diese Eigenschaft ist vor allem im Bergparkmodell zu erkennen, da dem zu großen Teilen auf der Gemarkung Kassel gelegenen Habichtswald keine Bäume zugeordnet sind und das Geländemodell die Topographie ohne Bäume darstellt. Das Stadtmodell besteht derzeit noch aus standardisierten Bäumen (Eichen und Ahorn), die entlang der Sichtachsen hochaufgelöst abgebildet wurden. Da noch kein vollständiger Zugriff auf die Datenbank des Baumkatasters hergestellt werden konnte, wird generell die Baumart „Eiche“ oder „Ahorn“ dargestellt.

5.9.2 Verkehrsschilder

Die Standorte von Verkehrsschildern sind für das Straßenverkehrsamt von Interesse. Da Verkehrsschilder mit deren Standorten bisher noch nicht in einer Datenbank erfasst wurden, besteht die Möglichkeit eine direkte Anbindung des künftigen Katasters an das 3D Modell herzustellen. Hierzu müssen zuerst die Koordinaten des jeweiligen Schildes im Straßenraum erfasst und die offizielle Nummer des Verkehrszeichens bestimmt werden. Auch die Höhe des Schildes und eine eventuelle Zusatzbeschilderung sind von Interesse. Weiterhin sollten Informationen vorhanden sein, ob das Zeichen in Verbindung mit einem Ampelmast, an einer Hauswand oder als freistehendes Gebilde befestigt ist. Für die Integration in ein 3D Modell ist die Ausrichtung des Verkehrszeichens ebenfalls von Bedeutung. Mit der Eingabe eines individuellen Winkels erhalten die Schilder die entsprechende Ausrichtung im Modell (*siehe Abbildung 32*).



Abbildung 32: Für den Aufbau des Katasters für Verkehrszeichen konnten bisher einige Schilder im Modell dargestellt werden.

5.9.3 Litfaßsäulen

Ein Kataster mit den Standorten von Litfaßsäulen konnte ebenfalls noch nicht erstellt werden. Da im Stadtgebiet nur eine begrenzte Anzahl dieser Objekte vorhanden ist, könnte jedoch ein entsprechendes Kataster zügig aufgebaut werden. Bisher wurde nur eine einheitliche Litfaßsäule für den Import in SketchUp erstellt. Da in der Realität jede einzelne Litfaßsäule durch unterschiedliche Plakatierung einem ständigen Änderungsprozess unterzogen ist, wird auch mittelfristig nur eine Standardsäule das Modell ausgestalten (*siehe Abbildung 33*).



Abbildung 33: Eine Litfaßsäule (Mitte) mit einem Standardbaum (rechts).

Um das Modell mit weiteren Objekten im Straßenraum auszustatten, sind bereits folgende Objekttypen in Planung

- Straßenlaternen
- Parkbänke
- ÖPNV-Haltestellen
- Straßenpolder / Pfosten

Da ein digitaler Zugriff auf diese Objekte allerdings noch nicht möglich ist, müssen hier zuerst aufwendige Vorarbeiten geleistet werden, um eine Anbindung an das Modell zu garantieren.

5.10 Landmarken

Landmarken (engl. Landmarks) sind detailliert ausmodellerte Objekte in einem 3D Stadtmodell. Häufig steht dieser Begriff für die Integration bestimmter Sehenswürdigkeiten oder Wahrzeichen, die in einer besseren Darstellungsqualität im Modell vorhanden sind. Am Beispiel der Stadt Kassel sollen die Landmarken im sogenannten LoD3-Level vorliegen. Daher werden diese voll ausmodelliert und mit Texturen versehen. Folgende Objekte sind bereits als Landmarken vorhanden oder werden kurzfristig in das Stadtmodell integriert.

- Herkules
- Schloss Wilhelmshöhe
- Bahnhof Wilhelmshöhe
- Martinskirche
- Friedenskirche
- Rosenkranzkirche
- Rathaus
- Stadthalle / Kongress Palais
- Friedericianum

Herkules, Schloss Wilhelmshöhe und Bahnhof Wilhelmshöhe wurden bereits ausmodelliert, und konnten in das Bergparkmodell integriert werden. Diese Modelle wurden zu Beginn mehrheitlich ohne Fototexturen ausgestattet, und erhielten einfache Farbtexturen, so dass ein Wiedererkennungseffekt zwar vorhanden war, die Sehenswürdigkeiten jedoch für den Betrachter eher plastisch wirkten. Derzeit wird darauf hingearbeitet, diese Modelle flächenhaft mit Fototexturen (Fassadenaufnahmen) auszustatten (*siehe Abbildung 34*).

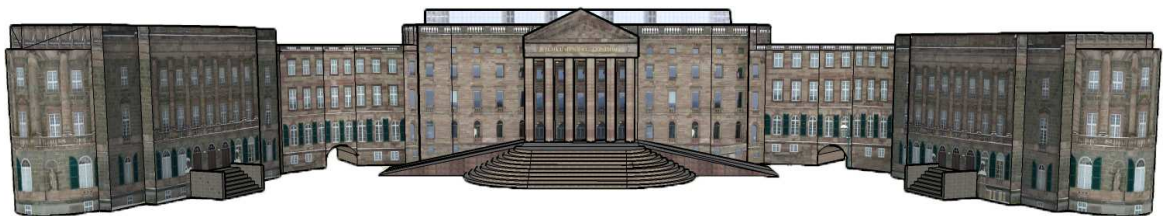


Abbildung 34: Das modellierte Schloss Wilhelmshöhe, das als Landmarke in das Stadtmodell integriert wurde.

Die Martinskirche ist eine der Hauptkirchen der Stadt und ist bedingt durch ihre Höhe und den Doppeltürmen ein markantes Gebäude im Stadtgebiet. Die Kirche wurde als erstes 3D Objekt komplett mit Fassadenfotos ausgestattet und erfüllt das angedachte LoD3-Level. Neben der Martinskirche wurden noch die Friedens- und die Rosenkranzkirche mit Fototexturen modelliert.

Das Rathaus, Friedericianum und die Stadthalle konnten noch nicht angefertigt werden. Im Zuge des Aufbaus des Innenstadtmodells werden diese Arbeiten jedoch noch im Jahr

2010 aufgenommen. Da das Ausstatten einer Landmarke mit Fassadenfotos den gewünschten realistischen Effekt erzielt hat, ist angedacht folgende Objekte ebenfalls mit Fototexturen zu modellieren (*siehe Tabelle 6*). Zwar benötigt eine fotorealistische Landmarke mehr Speichervolumen als ein Modell mit einer Standardfarbtextur, jedoch fällt dies aufgrund der geringen Anzahl von Landmarken derzeit noch nicht ins Gewicht.

Tabelle 6: Darstellung der vorgemerkten Landmarken. (Stand September 2010)

	fertiggestellt	ohne Fototexturen	mit Fototexturen
Herkules	X	X	X
Schloss Wilhelmshöhe	X	X	X
Bahnhof Wilhelmshöhe	X	X	X (teils)
Martinskirche	X	--	X
Friedenskirche	X	--	X
Rosenkranzkirche	X	--	X
Rathaus	--	--	--
Friedericianum	--	--	--
Stadthalle /Kongress Palais	--	--	--

Gegenwärtig werden die Landmarken mit SketchUp modelliert. Um ein realitätsgetreues Modell zu erhalten, bedarf es einiger Grundlagendaten wie Aufnahmen von verschiedenen Blickwinkeln, Konstruktionsplänen und Gebäudegrundrissen. Durch eine Zusammenarbeit verschiedener Dienststellen wurden diese Daten von städtischer Seite aus beschafft.

Zu Beginn der Arbeiten an den Landmarken wurde der ALK-Grundriss des Gebäudes als DXF-Datei importiert. Darauf aufbauend konnte das Modell nach den vorliegenden Unterlagen modelliert werden. Ein voll texturiertes Modell wie die Martinskirche wurde ungefähr innerhalb einer Woche erstellt. Jedoch sollten die Grundlagendaten bereits

vorher vollständig vorhanden sein und der Gebäudegrundriss als Modellierungsvorlage vorliegen (*siehe Abbildung 35*).



Abbildung 35: Die Martinskirche, die mit SketchUp modelliert wurde und im Innenstadtmodell als Landmarke vorhanden ist.

Herkulesfigur

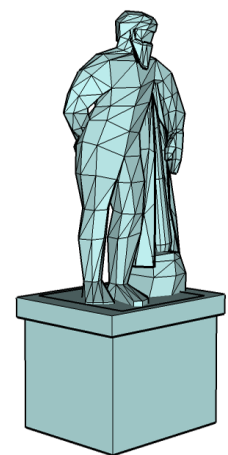


Abbildung 36: Die Figur des Herkules, die auf einem Oktogon steht (links) und mit einer CAD-Software erstellt wurde (rechts).

Die Herkulesfigur thront auf einem Oktogon oberhalb der Stadt im Bergpark (*siehe Abbildung 36*). Prinzipiell ist es einfacher Bauwerke und generell rechteckige Gebilde zu modellieren als Figuren oder Menschen, die eher runde Formen aufweisen. Die

Herkulesfigur konnte daher mit der oben beschriebenen Methode nicht modelliert werden und wurde mit einer CAD Software erstellt. Auch wenn mit dieser Methode auch nur die Grundzüge der Figur dargestellt werden konnten, wurde dadurch der Wiedererkennungseffekt deutlich erhöht. Es ist daher mittelfristig nicht geplant die Figur durch ein anderes Modell zu ersetzen.

5.11 Abgabe von Videodateien

Im Rahmen Arbeiten an der Weiterbeanmeldung sollten Rundflüge durch das Bergparkmodell erstellt und als Videodateien exportiert werden. Daher wurden folgende Videodateien erzeugt (*siehe auch ANHANG A*)

- Übersichtsflug Bergpark (1)
- Sichtachse Wilhelmshöher Allee (2)
- Sichtachse Friedrich-Ebert-Straße (3)
- Sichtachse Goethestraße (4)

Der Vorteil von Videodateien besteht darin, dass diese über einen Standard Media Player abgespielt werden können und die Weitergabe an Dritte unproblematisch sein sollte. Ein Nachteil hingegen ist die Vorbereitung und das Rendering der Videodateien. Je nach Länge und Qualität der Sequenz wurden für das Rendern einige Minuten bis wenige Stunden benötigt. Auch die Größe der im LandXplorer erzeugten AVI-Datei (ca. 250-600 Megabyte für 60 Sekunden) kann eine Weitergabe erschweren. Daher mussten die Videosequenzen zum größten Teil manuell nachbearbeitet und die Dateigröße verkleinert werden. Die Datenkomprimierung erfolgte jedoch verlustbehaftet. Infolgedessen mussten bei einer Erstellung von komprimierten Windows Media Videos (WMV-Dateien) Abstriche in der Datenqualität gemacht werden und ein Weg zwischen einer möglichst geringen Dateigröße und einem annehmbaren guten Ergebnis gefunden werden. Die vier Videodateien wurden daher auf 856 x 480 Pixel mit einer Datenrate zwischen 2341 kBit/s und 3380 kBit/s komprimiert und auf eine CD zur Datenweitergabe gebrannt.

5.12 Archivierung von Daten

Obwohl der Schwerpunkt der Arbeiten noch immer auf dem Aufbau der 3D Modelle liegt, werden bereits erste Schritte zur Archivierung von Daten und Modellen unternommen. Im konkreten Fall soll eines der wenigen, noch vor dem Zweiten Weltkrieg erhaltenen Gebäude einem modernen Einkaufsgeschäft in der Innenstadt weichen. Um vergleichbare historische Gebäude in einem 3D Modell zu bewahren, wurden bereits die Fassaden des Gebäudes abfotografiert und der Grundriss des Objekts aufgenommen. Weitere Eigenschaften des Gebäudes, wie die terrestrisch gemessene Trauf-, First und Dachhöhe, wurden bereits in der Gebäudedatenbank archiviert. Mit diesem Schritt wird es zukünftig möglich sein, Stadtansichten vergangener Jahre in 3D weiterhin betrachten zu können.

6 Ergebnisse

Je nach Detaillierung des 3D Modells können in relativ zügiger Weise Stadtmodelle mit entsprechend geringem Zeitaufwand erstellt werden. Hierbei ist es jedoch von Bedeutung, dass Grundlagendaten, die teilweise aus verschiedenen Datenquellen bezogen werden, bereits vorhanden, ausgewertet und aufbereitet worden sind. Erst wenn diese Daten zur Nutzung zur Verfügung stehen, kann ein Stadtmodell erstellt werden. Im Rahmen dieser Thesis konnten dabei folgende Fragen beantwortet werden.

- Mit welchen Methoden kann ein 3D Stadtmodell bezogen auf die Ansprüche der UNESCO-Welterbeanmeldung aufgebaut werden?
- Welche qualitativen Anforderungen können mit den vorhandenen Grundlagendaten in Bezug auf das Bergparkmodell erreicht werden?
- Wie können die Sichtachsen des Bergparkmodells anschaulich dargestellt und präsentiert werden?
- Wie sollen die Durchflüge durch das Modell konzipiert werden, um den Bergpark optimal zu präsentieren?

6.1 Methoden zum Aufbau des Bergparkmodells

Für das Projekt der Welterbeanmeldung musste das ursprünglich erdachte Zielkonzept nur minimal geändert werden. Das Geländemodell wurde aus einem Höhenraster gewonnen, das als TIN und schließlich als Tingrid umgewandelt wurde. Anschließend konnten Luftbilder auf das Geländemodell gelegt und die auf ALK-Grundrissen basierenden Gebäude mit den Dachflächen in das Modell integriert werden. Bereits aufgenommene Fassadenfotos im Straßenraum wurden zuerst entzerrt und teilweise retuschiert. Anschließend wurde die Auflösung reduziert und auf das Gebäudeklötzchen drapiert, oder dienten als Fassadentexturen für die Landmarken. Um das Stadtmodell weiter zu verbessern wurden Bäume erzeugt, die auf Basis des Baumkatasters importiert wurden. Besonders die Darstellung der Bäume konnte nur eingeschränkt durchgeführt werden, da diese nicht in der Fläche (innerhalb von Waldgebieten) abgebildet werden konnten. Dennoch wurden die Anforderungen des Bergparkmodells erreicht, und das ursprüngliche Zielkonzept konnte erfüllt werden.

6.2 Qualitative Anforderungen an das Modell

Durch die Betrachtung des Bergparkmodells als ein einheitliches Ganzes, musste der Schwerpunkt nicht auf einzelne Details innerhalb des Modells gelegt werden. Daher ist die Rasterweite des Höhenmodells von 12,5 Metern ausreichend. Auch das daraus erstellte TIN und Tingrid genügten den Anforderungen, um ein anschauliches Geländemodell anzufertigen.

Eine Auflösung der Luftbilder von 10cm war ebenfalls ausreichend. Aufgrund des großen Ausmaßes des Bergparkmodells und der damit verbundenen Anzahl an Bildkacheln, mussten geeignete Bildkomprimierungsverfahren angewendet werden, um die Datenmengen performant verarbeiten zu können. Daher bestehen die Luftbilder nicht aus den originären TIF-Dateien, sondern aus komprimierten ECW-Dateien.

Für die Anforderungen des Bergparkmodells genügte der ALK-Grundriss zur Darstellung von Bauwerken in der Fläche. Auch die berechneten und zum Teil geschätzten Höhen bieten einen realistischen Eindruck auf das Stadtgebiet. Die ALK-Struktur diente den Landmarken als Vorlage. Jedoch mussten diese an einigen Stellen überarbeitet werden, um einen LoD3 Detailierungsgrad zu erreichen.

Aufgrund der hohen Anzahl an Texturen innerhalb des Modells, wurde der Speicherbedarf jeder einzelnen Fassadenaufnahme möglichst klein gehalten. Daher schwankt die Dateigröße der Texturen je nach Gebäudefläche zwischen 50 KB und 150 KB für ein Bild im JPEG-Format. Diese Dateigröße reicht für die meisten Objekte aus. Nur bei flächenhaft sehr großen Gebäuden wurde die Dateigröße geringfügig überschritten. Für die Landmarken hingegen wurden größtenteils besser aufgelöste Texturen verwendet, da der Fokus stärker auf diesen Objekten liegt.

Für die Bäume als Teil der Stadtmöblierung wurden teilweise hochaufgelöste Modellobjekte verwendet. Jedoch konnten die detaillierten Baumtexturen nur im Bereich der Sichtachsen dargestellt werden. Außerhalb dieser Bereiche wurden aus Performancegründen nur weniger aufgelöste Bäume eingesetzt. Dem Wunsch, die kompletten Waldflächen mit 3D Bäumen auszustatten, konnte aufgrund der enormen Datenmenge nicht entsprochen werden.

6.3 Darstellung der Sichtachsen

Die Sichtachsen können anhand einer zentralen Hauptachse (Wilhelmshöher Allee) und zwei weiteren Hauptachsen (Friedrich-Ebert-Straße und Goethestraße) erkannt werden (*siehe auch ANHANG A*). Um die Bedeutung dieser Achsen auf den Bergpark zu untermauern und charakteristisch darzustellen, sind die Gebäude entlang dieser Bereiche flächendeckend mit Fassadenaufnahmen versehen worden. Auch Bäume wurden in einer hohen Auflösung in die relevanten Gebiete integriert, da diese potenzielle Sichthindernisse zum Bergpark bilden und für das Projekt von Bedeutung sind. Um einen realistischen Eindruck zu erreichen, wurden die Gebäudedächer anhand der Luftbilder texturiert. Dies führt zwar aufgrund der Dachneigung in den meisten Fällen zu Verzerrungen in der Fläche, jedoch ist dieser Makel zu Gunsten der Wirklichkeitsnähe vertretbar.

6.4 Konzeption der Durchflüge

Die Konzeption der virtuellen Durchflüge ist ein wichtiger Bestandteil zur Präsentation des Modells. Daher wurde für jede der drei Sichtachsen ein Durchflug mit Blickrichtung zum Bergpark verwirklicht (*siehe ANHANG A*). Desweiteren sollte ein weiteres Video mit einem Übersichtsflug über den Bergpark erstellt werden. Das Hauptmerkmal des Übersichtsflugs lag dabei auf der reinen Topografie. Im Vordergrund stand vor allem die Steilheit des Geländes im oberen Teil des Parks. Mit einem abschließend Blick zur Stadt, das einem Panoramafoto gleicht, wurde der Übersichtsflug abgeschlossen.

7 Künftige Projekte und Ausblick

7.1 Einleitung

Mit dem Aufbau des 3D Stadtmodells sind die Arbeiten jedoch nicht abgeschlossen, sondern stehen erst am Anfang. Künftig werden viele weitere 3D Projekte in Verbindung mit dem Stadtmodell entstehen, sodass der Bedarf nach 3D Informationen weiter steigen wird. Die folgenden Abschnitte sollen Auskunft geben, inwieweit sich dieses Projekt fortentwickeln wird und mit welchen weiteren Themen Anknüpfungspunkte zu einem 3D Stadtmodell bestehen könnten.

7.1 Integration von Punktwolken



Abbildung 37: Darstellung einer 3D Punktwolke, die mit Hilfe des TLS-Verfahrens erstellt wurde; Quelle: Stadt Kassel, Vermessung und Geoinformation

Parallel zum Projekt 3D Stadtmodell wird derzeit ein weiteres 3D Projekt innerhalb des Amts durchgeführt. Die dreidimensionale Erfassung markanter Bauwerke innerhalb des Stadtgebietes anhand des TLS-Verfahrens. Mit Hilfe eines Terrestrischen-LaserScanners (TLS) werden Objekte hochauflösend dreidimensional aufgenommen. Durch das Abtasten aus verschiedenen Standpunkten wird eine vollständige dreidimensionale Struktur der Bauwerke erfasst. Die daraus resultierende 3D Punktwolke kann mehrere Millionen Koordinatenpunkte umfassen. Mit dem Programm Cyclon können hierzu die Koordinatenpunkte eingelesen und die sich

überschneidenden Bereiche des Gebäudes entfernt werden, sodass eine einheitliche Punktwolke des Bauwerks entsteht (*siehe Abbildung 37*).

Auf Grundlage dieser Wolke konnten bereits hochauflösende und detaillierte Modelle erstellt werden, die in das 3D Stadtmodell integriert werden sollen (*siehe Abbildung 38*). Aufgrund der hohen Detailschärfe können diese Daten für Planungszwecke im großmaßstäbigen Bereich eingesetzt werden. Inwieweit diese Grundlagendaten für anderweitige Projekte verwendet werden können, muss weiterhin geprüft werden.

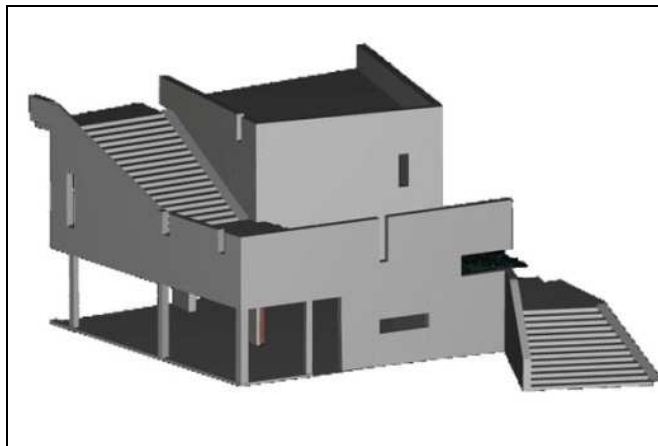


Abbildung 38: Anhand von hochauflösenden Punktwolken können detaillierte Modelle angefertigt werden; Quelle: Stadt Kassel, Vermessung und Geoinformation

7.1.1 Einladen der Punktwolke in das GIS

Durch Einlesen einer DXF-Datei in ArcGIS wurde versucht die 3D Punktwolke in ein GIS zu überführen. Aufgrund der hohen Anzahl an Koordinatenpunkten konnten die Daten jedoch nicht weiter verarbeitet werden. Auch der Versuch die Daten in ein Shapeformat zu konvertieren konnte nicht erfolgreich abgeschlossen werden, sodass weiterhin auf eine DXF-Datei zurückgegriffen werden muss.

Ähnlich verhielt sich die Punktwolke in ArcScene. Zwar bestand mit dieser Software die Möglichkeit die Punktwolke dreidimensional darzustellen, jedoch wurden aufgrund der enormen Datenmenge und der daraus resultierenden mangelnden Performance weiterführende Arbeiten vorerst nicht durchgeführt.

7.1.2 Mögliche Schnittstellen

Der nächste Versuch bestand darin die bereits ausmodellierten Objekte direkt in den LandXplorer als Visualisierungssoftware zu übernehmen. Obwohl das DXF-Format das hauseigene Format von Autodesk ist, konnten die Modelle nicht eingelesen werden, da geeignete Schnittstellen fehlten. Auch mit dieser Methode bestand keine Möglichkeit der Integration der Daten in das 3D Modell.

Obwohl weitreichende Recherchen durchgeführt wurden, konnten keine einheitlichen Schnittstellen gefunden werden. Bisher konnten in Cyclon nur Daten im hauseigenen Format oder als DXF-Datei exportiert werden. Zwar bietet die Software die Abspeicherung in weiteren Dateiformaten an, jedoch beschränken sich diese zum großen Teil nur auf den 2D Bereich.

7.1.3 Weitere Möglichkeiten zur Integration

Durch die bisher kurze Entwicklung im 3D Bereich haben sich bislang kaum entscheidende 3D Formate zur Datenweitergabe etabliert. Zwar hat sich im Gebiet der Stadtmodelle CityGML als Standardformat entwickelt, dieses wird jedoch von einer Spezialsoftware wie Cyclon, außerhalb des Bereichs der Stadtmodelle, nicht unterstützt. Auch das im CAD-Bereich weit verbreitete DXF-Format konnte für einen Austausch der Modelle untereinander nicht genutzt werden.

Durch die Anschaffung der FME als Transformations- und Konvertierungswerkzeug werden sich gegebenenfalls Möglichkeiten für einen Datenaustausch zwischen den beiden 3D Welten ergeben.

7.2 Solarkataster

In Verbindung mit dem Aufbau eines Solarkatasters wird derzeit eine Solarpotentialanalyse für sämtliche Dachflächen im Stadtgebiet durchgeführt. Ziel dieses Projekts ist es eine Solarbörse einzurichten, um potentiell ertragreiche Dachflächen herauszufiltern und zu vermarkten. Diese Flächen können daraufhin vom Eigentümer selbst genutzt oder an Dritte weiter verpachtet werden. Die Analyse erfolgt auf Basis einer stereoskopischen Auswertung aller Gebäude. Diese Auswertemethode erfasst

mehrere Punkte pro Quadratmeter im Raum und besitzt daher eine höhere Punktdichte als eine vergleichbare LIDAR Befliegung. Der weitere Vorteil dieser Analyse besteht darin, dass neben den Informationen der Sonneneinstrahlung auch der Dachtyp bestimmt wird. Daher sind diese Daten auch von Interesse für das 3D Projekt. Die Dächer werden in einer 3D Shapedatei geliefert, die neben X/Y-Koordinaten ebenfalls einen Z-Wert besitzen. Diese können anschließend direkt in das Modell importiert werden.

Zukünftig ist es angedacht, die Dachinformationen mit den ALK-Grundrissdaten zu verknüpfen. Das bedeutet, dass jedem ALK-Grundriss aus der Gebäudedatenbank eine Traufhöhe zugewiesen und als Klötzchen extrudiert wird. Dieses Klötzchen schließt im optimalen Fall direkt unterhalb der darauf „schwebenden“ 3D Dächer ab. Erste Untersuchungen wurden bereits mit einem Testdatensatz durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass die beiden unterschiedlichen Geometrien nicht optimal zueinander passten. Zum Teil stimmte die Traufhöhe der Grundrisse mit den Dächern nicht überein, so dass das Dach entweder über dem Klötzchen schwebte, oder das Klötzchen in die Dachfläche hineinragte (*siehe Abbildung 39*). Ein weiteres Problem bestand darin, dass die Dächer versetzt zu den Klötzchen dargestellt wurden. Dies hatte zur Folge, dass das Gebäude auf der einen Seite einen verhältnismäßig zu großen Dachüberstand besaß, während es auf der anderen Seite keinen oder nur einen sehr geringen Dachüberstand gab. Für dieses Problem wurden bereits verschiedene Lösungsansätze vorgestellt, die mittelfristig ausgewertet werden sollen.

In die Solarpotentialanalyse fließen auch Verschattungseffekte mit ein, die sich durch benachbarte Gebäude, durch das Gelände oder durch angrenzende Bäume ergeben können. Daher werden neben den Dachflächen auch die Baumstandorte mit Höhe und Kronendurchmesser ausgewertet. Gegenüber dem Baumkataster hat dies den Vorteil, dass künftig alle Bäume im Stadtgebiet vorhanden sind und nicht wie bisher nur Bäume im öffentlichen Raum. Ein Nachteil hingegen ist die redundante Datenhaltung. Mit der Führung des Baumkatasters wurden weitergehende Informationen über jeden einzelnen Baum erfasst (*siehe Kapitel 5.9*), so dass diese nicht einfach durch die „neuen“ Bäume ersetzt werden können. Eine Prüfung dieser Daten ist daher erforderlich.

Auch wenn die Angaben über die Baumart und die Gattung nicht vorhanden sind, ist es zukünftig jedoch angedacht die Bäume aus der Solarpotentialanalyse in das Modell zu

integrieren, da die Informationen über die Höhe des Baums und dessen Kronendurchmesser ausreichend zur Visualisierung im Stadtmodell sind.

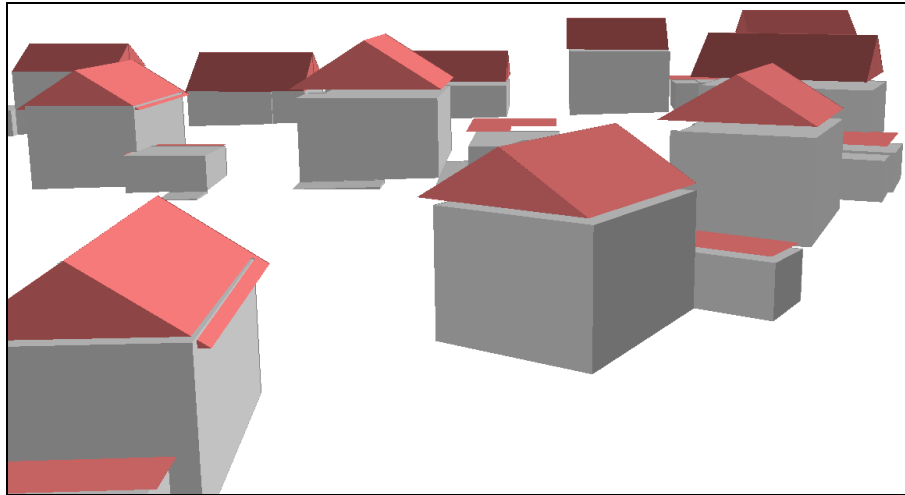


Abbildung 39: In dieser Abbildung ist deutlich zu erkennen, dass die Dachformen nicht auf die Klötzchen passen, sondern größtenteils versetzt darauf schweben.

7.3 Historisches Stadtmodell

Wie in *Kapitel 5.4.2* erwähnt, wurde bereits eine historische Luftaufnahme auf das Geländemodell gelegt. Da im Stadtgebiet viele Aufnahmen des Innenstadtbereiches vom Anfang des 20. Jahrhunderts archiviert wurden, wird nun geprüft, ob auch ein historisches Stadtmodell basierend auf der Straßengeometrie der Vorkriegszeit aufgebaut werden kann. Das Reizvolle in diesem Projekt liegt darin, dass die Stadt vor der schweren Zerstörung 1943 aus vielen Fachwerkhäusern bestand. Diese wurden in der Nachkriegszeit nicht wiederaufgebaut, sondern mit damals modernen Gebäuden aus den 50er bis 70er Jahren des 20. Jahrhunderts ersetzt.

Da bereits Kooperationen mit dem Stadtarchiv und dem Stadtmuseum vorhanden sind und in vergangener Zeit schon mehrere gemeinsame Projekte verwirklicht wurden, könnten zumindest für einige Straßenabschnitte im Innenstadtbereich die Höhe und die Fassaden der Gebäude rekonstruiert und somit ein historisches Stadtmodell mit dem Luftbildplan von 1928 erstellt werden. Auch historische Abbildungen von den ersten Straßenbahnen der Stadt liegen dem Amt vor, die als Landmarken in ein historisches Modell integriert werden können (*siehe Abbildung 40*).



Abbildung 40: Aufnahme des historischen Postgebäudes am Königsplatzes Anfang des 20. Jahrhunderts. Im Vordergrund ist eine Straßenbahn zu sehen, die bereits mit Dampf betrieben wurde; Quelle: Stadtarchiv Kassel

7.4 Weitergabe und Datenaustausch

Da die Arbeiten im 3D Bereich erst in den letzten Jahren an Bedeutung zugenommen haben, konnten sich erst kürzlich Standards für die Weitergabe von 3D Daten durchsetzen. Eine der bisher verbreiteten Methoden war die Erstellung einer 2D Rasterdatei oder eines PDFs. In den folgenden Abschnitten werden weitere Möglichkeiten vorgestellt, inwieweit 3D Modelle, neben der Erstellung von Videodateien, an Dritte abgegeben werden können, und welche Vor- und Nachteile in der jeweiligen Methode liegen.

7.4.1 Visualisierung über einen Viewer

Neben einem Export als Videodatei können Modelle auch über entsprechende Viewer betrachtet werden. Durch eine lokale Installation des LandXplorer Xpress Viewers kann jedes einzelne Modell in einer sogenannten „Pack&Go-Datei“ weitergegeben werden. Der Vorteil eines Viewers besteht darin, dass dieser kostenfrei aus dem Internet heruntergeladen werden kann. Mit einem Viewer ist es möglich, sich im Stadtmodell interaktiv zu bewegen und das Modell aus mehreren Blickwinkeln und Seiten anzuschauen. Mit Ausnahme von einfachen Messwerkzeugen zur Längenbestimmung und einer integrierten Fotofunktion für Screenshots stehen jedoch keine weiteren Funktionen zur Verfügung.

7.4.2 Intra- und Internetanbindung

Da eine Anbindung von 3D Modellen an das Intra- und Internet aufgrund der großen Datenmengen eine Herausforderung an die Leistungsfähigkeit der Server und des Netzwerks stellt, konnten erst in den letzten Monaten zuverlässige Systeme zur dreidimensionalen Visualisierung bereitgestellt werden. Vor allem im Bereich des Stadtmarketings und mit der damit verbundenen Förderung des Tourismus in der Stadt und der Region vermarkten sich bereits zahllose Städte im Internet (vgl. BLANKENBACH, 2007).

Anbindung an das städtische Intranet

Um das Modell für die Stadtverwaltung zugänglich zu machen, besteht die Option 3D Modelle über eine Client-Server-Verbindung an das städtische Informationssystem anzubinden. Inwieweit es hierzu Möglichkeiten gibt, diese 3D Daten mit einem 2D Informationssystem zu verknüpfen, muss derzeit noch überprüft werden. In anderen Stadt- und Gemeindeverwaltungen wurde bereits ein Zugang zu den 3D Modellen über intra- und internetfähige 3D Viewer ermöglicht.

Anbindung an das Internet und Google Earth

Obwohl eine Anbindung über webfähige Viewer an das Intranet sinnvoll ist, wird eine Anbindung der 3D Modelle an das Internet vorläufig nicht angestrebt. Auch eine Visualisierung des Stadtmodells in Google Earth oder Microsoft Bing wird von städtischer Seite aus mittelfristig nicht weiterverfolgt. Das liegt zum einen daran, dass eine Datenhaltung möglichst „im Hause“ stattfinden soll, zum anderen besteht bei der Datenabgabe an Google oder Microsoft das Risiko der unkontrollierten Verbreitung städtischer Daten.

In Zusammenarbeit mit dem Stadtmarketing könnte jedoch in einem gemeinsamen Projekt künftig darauf hingearbeitet werden, das Stadtmodell für touristische Zwecke webbasiert zu vermarkten.

7.4.3 CityGML

Durch die Etablierung des CityGML-Formats als standardisiertes Austauschformat sollen auch städtische 3D Daten demnächst über diese Schnittstelle weitergegeben werden. In einem späteren Schritt soll das Stadtmodell auch komplett in CityGML zu bearbeiten und fortzuführen sein. Erste Daten konnten zu Testzwecken bereits in den LandXplorer integriert und visualisiert werden.

7.4.4 3D PDF

Künftig wird auch eine Abgabe als 3D PDF angestrebt. Insbesondere in Verbindung mit der Solarpotenzialanalyse oder einer Bodenrichtwertauskunft könnte dem Bürger ein detailliertes 3D PDF zur Verfügung gestellt werden, das über den Acrobat Reader auch im nicht professionellen Bereich geöffnet und betrachtet werden kann

7.5 Weitere Entwicklung und künftige Projekte

7.5.1 3D Bäume

Zwar konnten bereits Bäume in die Modelle eingefügt werden, jedoch war es noch nicht möglich die Bäume zu klassifizieren und individuell zu unterscheiden. Zukünftig ist es vorgesehen, die Bäume nach ihrer Art zu differenzieren und weitere Informationen wie die Baumhöhe und den Kronendurchmesser aus dem Baumkataster mit in das Modell einfließen zu lassen.

7.5.2 Dynamische Objekte

In weiterentwickelten 3D Modellen sind bereits dynamische Objekte, wie fahrende Autos oder beleuchtete und unbeleuchtete Straßenlaternen zu erkennen. Längerfristig ist ebenfalls geplant, fahrende Straßenbahnen, laufende Menschen oder hell/dunkel Effekte in das Stadtmodell zu integrieren. Hierzu kann eine Zusammenarbeit mit der Universität Kassel nutzbringend sein, da im dortigen Institut für Informatik bereits Projekte mit sich virtuell bewegendem Menschen und Fahrzeugen durchgeführt werden. Es wurden jedoch

noch keine konkreten Projekte, auch außerhalb des 3D Bereichs, zwischen dem Amt und den Bildungseinrichtungen im Stadtgebiet durchgeführt.

7.5.3 3D Gips- und Holzmodell

Durch Abgabe des 12,5m Höhenrasters und eines digitalen Stadtplans konnte bereits ein 3D Gipsmodell des Kasseler Beckens erstellt werden. Das Modell besteht als reines Geländemodell. Die Amtliche Stadtkarte wurde auf das Gelände gelegt und besitzt den Maßstab von ca. 1:23000 mit einer 5-fachen Überhöhung. Das Gipsmodell ist die erste „physisch greifbare“ Darstellung, das mit den 3D Daten verwirklicht werden konnte (siehe Abbildung 41). Längerfristig wird auch der Erwerb eines 3D Druckers notwendig sein. Mit Hilfe dieses Druckers lassen sich in relativ kurzer Zeit Gebäude oder ganze Straßenabschnitte als physische Modelle drucken.

Sinnvoll wäre auch eine Anbindung des digitalen 3D Modelles an eine CNC Fräse. Über geeignete Austauschformate können Fräsen angesteuert werden, die einzelne Holzgebäude oder ganze Modelle maßstabsgetreu erstellen. Die Planungen hierfür sind jedoch noch nicht sehr weit fortgeschritten.



Abbildung 41: Anhand des Höhenrasters und der Amtlichen Stadtkarte wurde ein Gipsmodell im Maßstab von ca. 1:23.000 in 5-facher Überhöhung angefertigt; Quelle: eigene Aufnahme

7.5.4 Visualisierung von Sportstätten

Die Visualisierung von Sportstätten ist ein angedachtes Projekt in Zusammenarbeit mit dem Sportamt. Da im Jahr 2011 die Deutschen Leichtathletik Meisterschaften in der Stadt Kassel stattfinden werden, soll ein 3D Modell mit Schwerpunkt zur Visualisierung der unterschiedlichen Sportstätten entwickelt werden. Diese Sportstätten könnten mit zusätzlichen Informationen ausgestattet werden und als eine Art 3D Informationssystem dienen. Inwieweit dieses Projekt technisch umsetzbar ist, und welche Verbreitungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen, ist derzeit noch offen.

7.5.5 LaserScanbefliegung des Landes Hessen

Das Hessische Landesamt für Bodenordnung und Geoinformation (HLBG) lässt derzeit landesweite LaserScanbefliegungen durchführen. Es ist geplant Nordhessen in der Mitte des Jahres 2011 zu befliegen und hieraus ein flächendeckendes LoD1 Modell abzuleiten. Ob die Stadt die LIDAR-Daten erwirbt, hängt von der Datenqualität ab. Die bereits stadtweit durchgeführten stereoskopischen Auswertungen sind jedoch detaillierter als es die Laserscandaten des Landes wahrscheinlich sein werden.

8 Zusammenfassung und Erkenntnisse

Ein 3D Stadtmodell ist ein wichtiger Bestandteil, um kommunale Planungen durchzuführen und darzustellen. Daher ist es im Interesse der Stadt zeitnah ein auf interne Bedürfnisse ausgelegtes 3D Modell aufzubauen. Ein wichtiger Motor ist die UNESCO-Welterbeanmeldung, die Detailplanungen beschleunigen konnte und wegweisend für kommende 3D Projekte sein wird. Auf diesen Erfahrungen aufbauend konnte das Innenstadtmodell erstellt und projektbezogen gestaltet werden.

Nachdem sämtliche Grundlagendaten aktualisiert und aufbereitet waren, wurde zuerst ein einfaches Geländemodell durch die Erstellung eines sogenannten TINs und Tingrids erzeugt. Bereits auf Basis dieses Modells konnten Informationen wie die Hangneigung oder die Hangausrichtung (Beispiel Südhang) eines Geländes abgelesen oder vorbeugende Maßnahmen wie gegen Hochwasser erörtert werden. Erste Projekte wie der Druck eines 3D Gipsmodells wurden bereits realisiert. Mit dem Hinzufügen von Gebäudeklötzchen konnten Sichtachsen in Bezug auf das Bergparkmodell aufgezeigt und weitere Erkenntnisse im Stadtraum gewonnen werden. Anzumerken ist hierbei, dass der Schritt zu einem reinen Klötzchenmodell (LoD1) mit den passenden Dachformen verhältnismäßig zeitnah erreicht wurde.

Für die zusätzliche Ausgestaltung des Modells wurden weitere Arbeiten durchgeführt. Die Aufnahme von Fassadenfotos für wichtige Straßenzüge der Stadt war ein weiterer Schritt zur Ausmodellierung. Jedoch war es auch notwendig die Aufnahmen nachzubearbeiten, um die Fassaden zu entzerren und gegebenenfalls störende Objekte zu retuschieren. Erst nach diesen Arbeiten wurden die modifizierten Fassadenfotos auf die Oberfläche der Klötzchen gelegt. Zwar besteht die Möglichkeit jeder Fassade über einen Objektschlüssel automatisiert ein Foto zuzuordnen, jedoch musste dennoch jede einzelne Fassade individuell nachbearbeitet werden. Bereits im Rahmen dieses Projekts wurden weitere Objekte wie beispielsweise Bäume, die sich in der Unterhaltung der Stadt befinden, in das Modell integriert. Zusätzliche Objekte wie Verkehrszeichen oder Litfaßsäulen werden für die flächendeckende Einbindung in das Modell vorbereitet. In Planung sind ebenfalls die Darstellung von ÖPNV-Haltestellen oder Straßenlaternen im Innenstadtbereich. Durch das Einfügen voll ausmodellierter Bauwerke, sogenannter Landmarken, wurde für einige Teilbereiche das Stadtmodell weiter aufgewertet. Zwar

ist der Zeit- und Kostenaufwand zur Erstellung einer Landmarke im Vergleich zu der weitgehend automatischen Erstellung eines Gebäudeklötzchens sehr hoch, jedoch müssen insbesondere die Wahrzeichen und Sehenswürdigkeiten einer Stadt wiedererkennbar sein, so dass der entsprechend große Zeitaufwand zur Erstellung dieser Objekte durchaus gerechtfertigt ist.

Darüber hinaus werden künftige Schnittstellen zur Datenmigration und Integration von weiteren 3D Fachanwendungen gesucht. Zwar konnten bisher keine übereinstimmenden Schnittstellen bestimmt werden, jedoch erscheint die FME ein vielversprechendes Konvertierungswerkzeug zu sein, um Fachdaten aus unterschiedlichen Quellen in das 3D Stadtmodell zu integrieren. Insbesondere sollen 3D Punktwolken, die über das Terrestrische LaserScanning Verfahren (TLS) erfasst wurden, in das Modell eingebunden werden. Inwiefern ein 3D Stadtmodell für weitere stadtinterne Projekte hinzugezogen und welche Formen von Zusammenarbeit es künftig geben wird, ist Bestandteil weiterer Diskussionen.

9 Literaturverzeichnis

- AVERDUNG, C. (2006): Modellierung von 3D-Stadtmodellen mit heterogenen Ausgangsdaten, Heidelberg: Wichmann-Verlag.
- BARTELME, N. (2005): Geoinformatik – Modelle, Strukturen, Funktionen, 4. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- BEZEMA, R., M. U. MÜLLER, A. POTH, H. RUBACH & U. TADDEI (2007): Interoperabilität für 3D-Geodaten – Erfahrungen mit CityGML und OGC Web Services. In: STROBL, J., T. BLASCHKE & G. GRIESEBNER (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2007 – Beiträge zum 20. AGIT-Symposium, Heidelberg: Wichmann-Verlag.
- BLANKENBACH, J. (2007): Handbuch der mobilen Geoinformation, Heidelberg: Wichmann-Verlag.
- COORS, V. & A. ZIPF (2004): Einführung in 3D Geoinformationssysteme. In: 3D-Geoinformationssysteme – Grundlagen und Anwendungen, Heidelberg: Wichmann-Verlag.
- DIEZ, D., W. SCHMID, M. RÖSLER-GOY & E. SEYFERT (2009): Schutz des Persönlichkeitsrechts bei der Verarbeitung von Geodaten. In: Kartographische Nachrichten, Band 6.
- FREIWALD, N. & R. JANY (2005): Dateiformate für vektorbasierte 3D-Geodaten. In: COORS, V. & A. ZIPF (Hrsg.): 3D-Geoinformationssysteme – Grundlagen und Anwendungen, Heidelberg: Wichmann-Verlag.
- GALLER, I. (2002): Identifikation von Landmarks in 3D-Stadtmodellen, Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Bonn.
- GRÖGER, G. & T. KOLBE (Hrsg.) (2005): Proceedings of the 1st intern. ISPRS / EuroSDR / DGPF-Workshop on Next Generation 3D City Models EuroSDR Bonn 2005.
- GRÖGER, G., T. KOLBE & A. CZERNWINSKI (2007): Candidate OpenGIS® CityGML Implementation Specification (City Geography Markup Language), Bd. OGC 07-062: Open Geospatial Consortium, Inc. http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=22120.
- GÜLCH, E. (2005): Erfassung von 3D-Geodaten mit Digitaler Photogrammetrie. In: COORS, V. & A. ZIPF (Hrsg.): 3D-Geoinformationssysteme – Grundlagen und Anwendungen, Heidelberg: Wichmann-Verlag.
- HAALA, N. (2005): Laserscanning zur dreidimensionalen Erfassung von Stadtgebieten.. In: COORS, V. & A. ZIPF (Hrsg.): 3D-Geoinformationssysteme – Grundlagen und Anwendungen, Heidelberg: Wichmann-Verlag.

-
- HAKE, G., D. GRÜNREICH & L. MENG (2002): Kartographie – Visualisierung raum-zeitlicher Informationen, 8. Auflage, Berlin New York: Verlag Walter de Gruyter.
- KOLBE, T. & S. BACHARACH (2006), CityGML: An Open Standard for 3D City Models.
- KOLBE, T. (2008): Einführung in CityGML, Gemeinsame DGPF- & DGFK-Jahrestagung (2008), Oldenburg.
- KOLBE, T. (2008): CityGML, KML und das Open Geospatial Consortium. In: Tagungsband zum 13. Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme des Runden Tisch GIS e. V.
- KONFERENZ DER KANTONALEN VERMESSUNGSÄMTER (2000): Leitfaden Qualitätssicherung – Photogrammetrie und DTM-Generierung, http://www.kkva.ch/de/downloads/richtlinien/photogrammetrie/qs_photogramm-etrie.pdf.
- KRAUS, K. (2004) Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanner-aufnahmen. 7. Auflage, Bd. 1. Berlin: Verlag Walter de Gruyter.
- LANDESAMT FÜR GEOINFORMATION UND LANDESENTWICKLUNG BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (2004): Karten, Geodaten, Luftbilder, Stuttgart.
- LUSER, J., LORBER, G. (1997): 3D-Stadtmodell Graz – Anforderungen, Ansprüche, Anwendungen. In: SCHRENK, M. (Hrsg.): Beiträge zum Symposium CORP97, Wien.
- PINA, J. L., F. SERON & E. CEREZO (2009): Building and Rendering 3D Navigable Digital Cities. In: CAR, A., G. GRIESEBNER & J. STROBL (Hrsg.): Geospatial Crossroads @ GI_Forum – Proceedings of the Geoinformatics Forum Salzburg, Heidelberg: Wichmann-Verlag.
- RICHTER, C. (2007): Orthorektifizierung von IKONOS- Szenen als Grundlage für die GIS- Datenerfassung im Gebiet der Pampa von Nasca/Peru, Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Salzburg.
- ROSS, L., J. BOLLING, J. DÖLLNER & B. KLEINSCHMIT, (2009): Enhancing 3D City Models with Heterogeneous Spatial Information: Towards 3D Land Information Systems. In: SESTER, M., L. BERNARD & V. PAELKE (Hrsg.): Advances in GIScience, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- NEUMANN, M., M. REINHOLD & E. MATEJKA, (2008): Entwicklung einer Prozesskette zur 3D-Stadtmodellierung am Beispiel der Stadt Erfurt. In: STROBL, J., T. BLASCHKE & G. GRIESEBNER (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2008 – Beiträge zum 20. AGIT-Symposium, Heidelberg: Wichmann-Verlag.

-
- SCHILLING, A. & A. ZIPF (2003): Integration von 2D- und 3D-Geodaten am Beispiel der dynamischen Generierung virtueller Stadttouren, Heidelberg: European Media Laboratory EML.
- SCHUMANN, A. (2008): Ein einfach benutzbares mobiles Navigationssystem für Fußgänger, München: GRIN-Verlag.
- STREICH, B. (2005): Stadtplanung in der Wissensgesellschaft – Ein Handbuch, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- TIEDE, D. & BLASCHKE, T. (2005): A Two-Way Workflow for Integrating CAD, 3D Visualization and Spatial Analysis in a GIS Environment. – In: BUHMANN, E. & S. ERVIN (Hrsg): Trends in Real-Time Landscape Visualization and Participation. Proceedings at Anhalt University of Applied Sciences 2005, Heidelberg: Wichmann-Verlag.
- WILHELMY, H. (2002): Kartographie in Stichworten, Berlin, Stuttgart: Gebrüder Bornträger Verlagsbuchhandlung.
- WISSEN, U. (2009): Virtuelle Landschaften zur partizipativen Planung – Optimierung von 3D Landschaftvisualisierungen zur Informationsvermittlung, Zürich: Vdf Hochschulverlag.

Internet

CONSTANTIN, C. & D. SCHIESL (2010): 3D PDF 3D-CAD-DATEN im PDF Format
<<http://tugll.tugraz.at/07web20/weblog/11761.html>> (Stand: 2010-06-03)
(Zugriff: 2010-06-27)

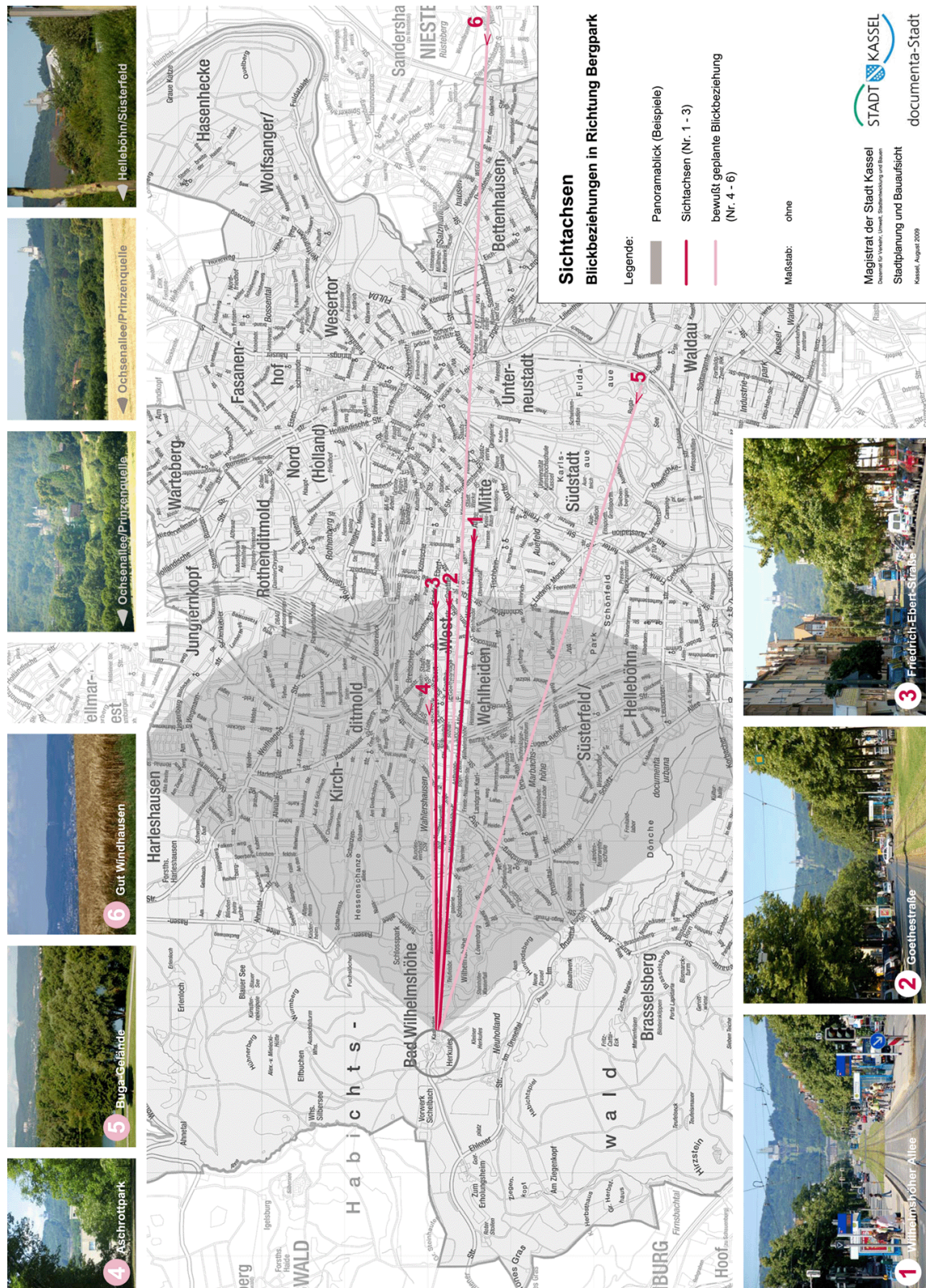
CONTERRA (2010): FME – Feature Manipulation Engine
<<http://www.conterra.de/de/software/fme/index.shtm>> (Zugriff: 2010-08-03)

ESRI (2010): ArcGIS 3D Analyst <<http://esri-germany.de/products/arcgis/extensions/3danalyst/index.html>> (Zugriff: 2010-08-02)

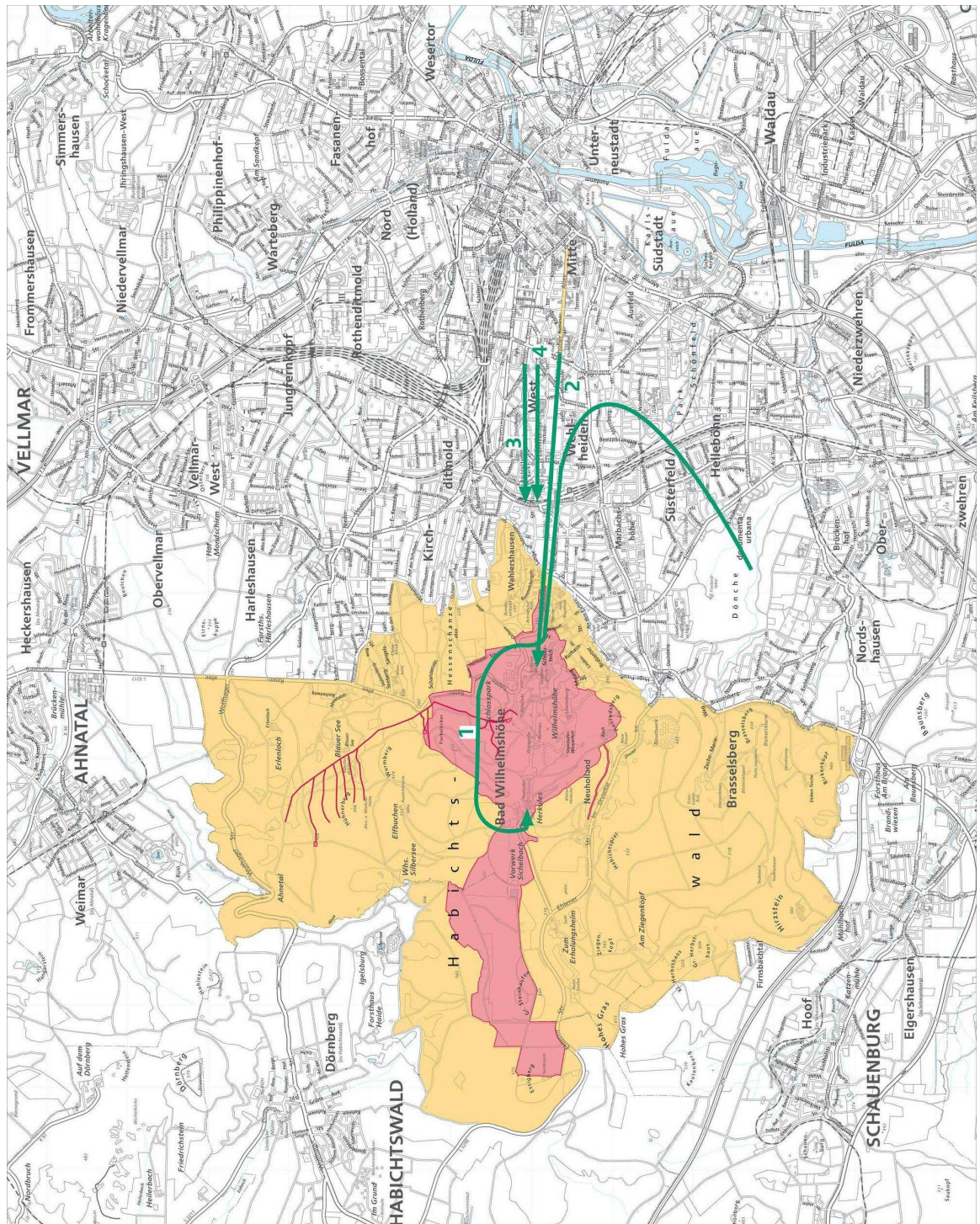
GEOINFORMATIK-SERVICE UNIVERSITÄT ROSTOCK (2008): Bruchkante
<www.geoinformatik.uni-rostock.de/einzel.asp?ID=243> (Stand: 2008-09-16)
(Zugriff: 2010-06-21)

REGIERUNGSPRÄSIDIUM DARMSTADT (2009): Datenschutzaufsicht im nicht öffentlichen Bereich – Tätigkeitsbericht für 2008
<http://www.hessen.de/irj/RPDA_Internet?cid=90e7f0d8cc2c84ff27bb0b0182f579a8> (Stand: 2009-09-08) (Zugriff: 2010-05-12)

Anhang A Übersichtskarten



Die Darstellung der Hauptachsen (1-3) und weiterer Blickbeziehungen (4-6) zum Bergpark und zum Herkules; Quelle: Stadt Kassel, Stadtplanung und Bauaufsicht



Abgrenzung des möglichen Welterbes nach Kern- und Pufferzone (hellrot und ocker) mit dem Einzugsgebiet der Wasserläufe (dunkelrot) und den nummerierten Flugrouten (grün); Quelle: Stadt Kassel, Vermessung und Geoinformation

Anhang B Auszug aus dem Datenschutzbericht 2008 des Regierungspräsidiums Darmstadt

9.1 Digitale Straßenansichten im Internet

Vor allem den Anbietern von Telemedien im Internet bietet die technische Entwicklung immer mehr faszinierende Möglichkeiten. Gleichzeitig bringt es enorme Gefahren für Persönlichkeitsrechte betroffener Bürgerinnen und Bürger mit sich, dass Unternehmen mit geradezu gigantischen Speicherkapazitäten heute auf schnellen Datenleitungen Nutzer weltweit mit einer Fülle von Informationen versorgen können. Dies zeigte sich im Berichtsjahr insbesondere an dem Projekt „Street-View“ des amerikanischen Internet-Marktführers Google.

Obwohl bereits von einigen Unternehmen und auch Kommunen in letzter Zeit Seiten mit digitalisierten Straßenansichten z. B. aus Marketinggründen oder zur Tourismusförderung in das WWW eingestellt werden, erregte erst Googles „Street-View“ die Aufmerksamkeit der Bevölkerung und der Presse.

Es handelt sich bei „Street View“ um eine Ergänzung des bereits bestehenden Google-Dienstes „Maps“, mit dem schon seit Jahren weltweit Landkarten und Satellitenaufnahmen mit einer überraschend guten Auflösung frei zugänglich im WWW aufgerufen werden können. „Street View“ erlaubt es dem Nutzer zusätzlich zur Luftbildansicht einen Straßenzug aus der Perspektive eines Autofahrers zu betrachten. Jeder kann sozusagen aus dem Luftbild einer Stadt in eine wahlfreie Straße „eintauchen“ und dann wie ein Autofahrer nach vorne, hinten, links oder rechts „sehen“.

Bisher war diese Funktion für das Gebiet von Deutschland in „Maps“ allerdings noch nicht aktivierbar. Für einige Länder der Erde wie zum Beispiel für die USA, Großbritannien und Frankreich wurde „Street-View“ bereits in die Luftbildfunktion von „Maps“ integriert. Da das Unternehmen das Angebot ausbauen möchte, sind Googles Kamerawagen zurzeit in Nordamerika, Europa, Asien und Australien unterwegs und lichten dabei systematisch die Straßenzüge ganzer Städte ab.

Im Berichtsjahr gingen nun bei der Datenschutzaufsichtsbehörde zahlreiche Anfragen verunsicherter Bürgerinnen und Bürger ein, die Fahrzeuge mit einem großen auffälligen Stativaufbau mit mehreren Kameras durch die Straßen von Frankfurt am Main hatten fahren sehen und sich besorgt erkundigten, wer hier zu welchem Zweck

Foto- oder Videoaufnahmen der Straßen Frankfurts anfertigt und ob dies zulässig sei. Einige Journalisten waren bereits besser informiert und kurz darauf war es auch der Presse zu entnehmen, dass Google beabsichtigte, die Funktion „Street-View“ auch für Deutschland anzubieten. Das Unternehmen habe gerade damit begonnen, die Straßen einiger deutscher Großstädte systematisch abzufahren.

Aus datenschutzrechtlicher Sicht ist es sicherlich nicht „per se“ unzulässig, Fotografien von Häuserzeilen, die an öffentlichen Straßen liegen und daher für jedermann ohne Probleme ohnehin sichtbar sind, zur späteren Veröffentlichung anzufertigen. Allerdings können auch hier schutzwürdige Interessen der jeweiligen Eigentümer und Bewohner tangiert sein. Dies gilt in besonderem Maße für dabei zufällig aufgenommene erkennbare Personen und personenbeziehbare Kfz-Kennzeichen. Hier können Betroffene in der Regel ohne großen Aufwand identifiziert werden. Die Gefahr einer Verletzung von Persönlichkeitsrechten bei der Veröffentlichung im WWW ist daher in diesen Fällen besonders groß. Die Information darüber, wer sich wann an einer bestimmten Stelle aufgehalten hat, ist eben in der Regel nicht öffentlich zugänglich, sondern gehört vielmehr zur Privatsphäre der jeweils Betroffenen, die ein gegenüber dem berechtigten Interesse von Google an der Bereitstellung umfänglicher Informationen offensichtlich überwiegendes schutzwürdiges Interesse daran haben, dass diese Angaben zu ihrer Person oder ihrem Kfz nicht im WWW verbreitet werden.

Zuständige Datenschutzaufsichtsbehörde für die Datenerhebung und Datenverwendung durch Google ist der Hamburgische Datenschutzbeauftragte, da die dort ansässige Google Germany GmbH als Inlandsvertreter von Google im Sinne des § 1 Abs. 5 BDSG anzusehen ist. Da von „Street-View“ aber mehrere Bundesländer betroffen waren und die Datenschutzaufsichtsbehörden aller Bundesländer mit Fragen zu dem Vorhaben konfrontiert wurden, hat sich der Düsseldorfer Kreis mit den damit zusammenhängenden datenschutzrechtlichen Fragestellungen befasst (siehe bereits Ziffer 6). Das Hessische Ministerium des Inneren und für Sport übermittelte der Google Inc. den folgenden Beschluss als gemeinsame Position der deutschen Datenschutzaufsichtsbehörden für den nicht öffentlichen Bereich:

„Datenschutzrechtliche Bewertung von digitalen Straßenansichten insbesondere im Internet

Bei digital erfassten Fotos von Gebäude- und Grundstücksansichten, die über Geokoordinaten eindeutig lokalisiert und damit einer Gebäudeadresse und dem

Gebäudeeigentümer sowie den Bewohnern zugeordnet werden können, handelt es sich in der Regel um personenbezogene Daten, deren Erhebung und Verarbeitung nach dem Bundesdatenschutzgesetz zu beurteilen ist. Die Erhebung, Speicherung und Bereitstellung zum Abruf ist nur zulässig, wenn nicht schutzwürdige Interessen der Betroffenen überwiegen. Bei der Beurteilung schutzwürdiger Interessen ist von Bedeutung, für welche Zwecke die Bilddaten verwendet werden können und an wen diese übermittelt bzw. wie diese veröffentlicht werden.

Die obersten Aufsichtsbehörden sind sich einig, dass die Veröffentlichung von georeferenziert und systematisch bereit gestellten Bilddaten unzulässig ist, wenn hierauf Gesichter, Kraftfahrzeugkennzeichen oder Hausnummern erkennbar sind.

Den betroffenen Bewohnern und Grundstückeigentümern ist zudem die Möglichkeit einzuräumen, der Veröffentlichung der sie betreffenden Bilder zu widersprechen und dadurch die Bereitstellung der Klarbilder zu unterbinden. Keine schutzwürdigen Interessen bestehen, wenn die Darstellung der Gebäude und Grundstücke so verschleiert bzw. abstrakt erfolgt, dass keine individuellen Eigenschaften mehr erkennbar sind.

Um die Möglichkeit zum Widerspruch schon vor der Erhebung zu eröffnen, sollte die geplante Datenerhebung mit einem Hinweis auf die Widerspruchsmöglichkeit rechtzeitig vorher bekannt gegeben werden. Die Widerspruchsmöglichkeit muss selbstverständlich auch noch nach der Veröffentlichung bestehen.“

Der Beschluss bezieht sich ausdrücklich nicht „Google Street View“ sondern ist allgemein gefasst, weil die darin bezeichneten Anforderungen selbstverständlich für alle Anbieter solcher Straßenansichten gelten.

Bei Redaktionsschluss dieses Berichts lag bereits eine erste Reaktion der Google Inc. auf die letztlich auf Transparenz und Wahrung der Rechte von Betroffenen gerichteten Forderungen der Datenschutzaufsichtsbehörden vor. Das Unternehmen sichert darin die Unkenntlichmachung („Verpixelung“) von Gesichtern und Kfz-Kennzeichen vor der Veröffentlichung zu, wie dies bereits bei den Aufnahmen in anderen Ländern geschehen ist, und kündigte an, die beste am Markt verfügbare Technik hierfür einzusetzen. Weiterhin sei geplant, es jedem Betroffenen sozusagen „auf Mausklick“ ohne viel Aufwand zu ermöglichen, unerwünschte Aufnahmen auch von Häuserfassaden aus „Street View“ wieder entfernen zu lassen und damit seine schutzwürdigen Belange zu berücksichtigen. Den Aufsichtsbehörden wurde auch

Informationsmaterial über die Umsetzung der Widerspruchsmöglichkeit zur Veröffentlichung auf deren Homepages angeboten.

Dass Google damit auf die deutschen Datenschützer zugeht, ist ohne Zweifel anerkennenswert. Ob die Google-Technik aber wirklich zur automatischen Unkenntlichmachung im notwendigen Umfang und mit erforderlicher Qualität in der Lage ist, wird sich zeigen. Angesichts der Erfahrungen aus anderen Ländern, in denen „Street View“ schon länger verfügbar ist, muss allerdings damit gerechnet werden, dass sich in Einzelfällen immer noch datenschutzrechtliche Probleme ergeben werden.

Es bleibt abzuwarten, ob Google den darüber hinausgehenden Forderungen der Datenschutzaufsichtsbehörden, zum Beispiel nach der frühzeitigen Bekanntgabe der geplanten Datenerhebungen, nachkommen wird. Als zum Redaktionsschluss die ersten Links auf Bilder der deutschen Google-Kamera-Flotte (schwarze Kleinwagen mit sehr hohem Dachaufbau und großen Google-Aufklebern) im WWW veröffentlicht wurden, hatte das Unternehmen die beginnenden Aufnahmen dem Düsseldorfer Kreis zwar angekündigt. Fragen des Regierungspräsidiums Darmstadt nach Zeitspannen und konkreten Orten geplanter Aufnahmen in Hessen wurden mit Verweis auf die Abhängigkeit von der jeweils herrschenden Witterung und die flexible und selbständige Arbeitsorganisation der Google-Fahrer allerdings nicht beantwortet. Sicher war lediglich, dass nur dicht besiedelte Gebiete befahren werden und dass Frankfurt am Main davon nicht mehr betroffen sein wird, da die Straßen der Stadt bereits im letzten Jahr weitgehend aufgenommen wurden.

Das Regierungspräsidium Darmstadt hat sich daraufhin dafür eingesetzt, dass das Unternehmen beispielsweise auf einer Internetseite bekannt gibt, welche Städte in welchen Zeiträumen aufgenommen werden und ab wann diese Aufnahmen im WWW abrufbar sein werden. Eine Reaktion von Google stand zu Redaktionsschluss noch aus.

Anhang C Beispiel eines CityGML Quelltexts

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!-- Written by LandXplorer CityGML Exporter -->
<core:CityModel
  xmlns:veg="http://www.opengis.net/citygml/vegetation/1.0"
  xmlns:app="http://www.opengis.net/citygml/appearance/1.0"
  xmlns:luse="http://www.opengis.net/citygml/landuse/1.0"
  xmlns:tran="http://www.opengis.net/citygml/transportation/1.0"
  xmlns:frn="http://www.opengis.net/citygml/cityfurniture/1.0"
  xmlns:wtr="http://www.opengis.net/citygml/waterbody/1.0"
  xmlns:LDXxlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
  xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
  xmlns:LDXxal="urn:oasis:names:tc:ciq:xsd:schema:xAL:2.0"
  xmlns:bldg="http://www.opengis.net/citygml/building/1.0"
  xmlns:gen="http://www.opengis.net/citygml/generics/1.0"
  xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/citygml/1.0
http://www.opengis.net/citygml/1.0/cityGMLBase.xsd
http://www.opengis.net/citygml/landuse/1.0
http://www.citygml.org/citygml/landuse/1.0/landUse.xsd
http://www.opengis.net/citygml/cityfurniture/1.0
http://www.citygml.org/citygml/cityfurniture/1.0/cityFurniture.xsd
http://www.opengis.net/citygml/appearance/1.0
http://www.citygml.org/citygml/appearance/1.0/appearance.xsd
http://www.opengis.net/citygml/transportation/1.0
http://www.citygml.org/citygml/transportation/1.0/transportation.xsd
http://www.opengis.net/citygml/waterbody/1.0
http://www.citygml.org/citygml/waterbody/1.0/waterBody.xsd
http://www.opengis.net/citygml/building/1.0
http://www.citygml.org/citygml/building/1.0/building.xsd
http://www.opengis.net/citygml/relief/1.0
http://www.citygml.org/citygml/relief/1.0/relief.xsd
http://www.opengis.net/citygml/vegetation/1.0
http://www.citygml.org/citygml/vegetation/1.0/vegetation.xsd
http://www.opengis.net/citygml/cityobjectgroup/1.0
http://www.citygml.org/citygml/cityobjectgroup/1.0/cityObjectGroup.xsd
http://www.opengis.net/citygml/generics/1.0
http://www.citygml.org/citygml/generics/1.0/generics.xsd"
  xmlns:core="http://www.opengis.net/citygml/1.0"
  xmlns:dem="http://www.opengis.net/citygml/relief/1.0"
  xmlns:grp="http://www.opengis.net/citygml/cityobjectgroup/1.0"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <gml:boundedBy>
    <gml:Envelope>
      <gml:lowerCorner>5533.98554330785 3429.94375058264
179.005998802479</gml:lowerCorner>
      <gml:upperCorner>5556.96054368932 3445.5217506513
185.805998802479</gml:upperCorner>
    </gml:Envelope>
  </gml:boundedBy>
  <core:cityObjectMember>
    <bldg:Building>
      <gen:intAttribute name="Dachtyp">
        <gen:value>3</gen:value>
      </gen:intAttribute>
      <gen:intAttribute name="NN_Fuss">
        <gen:value>204</gen:value>
      </gen:intAttribute>
    </bldg:Building>
  </core:cityObjectMember>
</core:CityModel>
```

```

</gen:intAttribute>
<gen:doubleAttribute name="Hoehe_Trau">
  <gen:value>6.8</gen:value>
</gen:doubleAttribute>
<gen:doubleAttribute name="Hoehe_alle">
  <gen:value>11.3</gen:value>
</gen:doubleAttribute>
<gen:stringAttribute name="_name">
  <gen:value>building_0</gen:value>
</gen:stringAttribute>
<bldg:yearOfConstruction>-1</bldg:yearOfConstruction>
<bldg:measuredHeight uom="#m">0</bldg:measuredHeight>
<bldg:storeysAboveGround>-1</bldg:storeysAboveGround>
<bldg:storeysBelowGround>-1</bldg:storeysBelowGround>
<bldg:lod3MultiSurface>
  <gml:MultiSurface>
    <gml:surfaceMember>
      <gml:Polygon gml:id="tempid542">
        <gml:exterior>
          <gml:LinearRing>
            <gml:posList>3532551.96054369 5687434.58375045
185.805998802479 3532528.98554331 5687430.88475057 185.805998802479
3532549.11054331 5687424.94375058 185.805998802479 3532551.96054369
5687434.58375045 185.805998802479 </gml:posList>
          </gml:LinearRing>
        </gml:exterior>
      </gml:Polygon>
    </gml:surfaceMember>
    <gml:surfaceMember>
      <gml:Polygon gml:id="tempid543">
        <gml:exterior>
          <gml:LinearRing>
            <gml:posList>3532528.98554331 5687430.88475057
185.805998802479 3532551.96054369 5687434.58375045 185.805998802479
3532531.83254319 5687440.52175065 185.805998802479 3532528.98554331
5687430.88475057 185.805998802479 </gml:posList>
          </gml:LinearRing>
        </gml:exterior>
      </gml:Polygon>
    </gml:surfaceMember>
    <gml:surfaceMember>
      <gml:Polygon gml:id="tempid544">
        <gml:exterior>
          <gml:LinearRing>
            <gml:posList>3532528.98554331 5687430.88475057
185.805998802479 3532531.83254319 5687440.52175065 185.805998802479
3532531.83254319 5687440.52175065 179.005998802479 3532528.98554331
5687430.88475057 185.805998802479 </gml:posList>
          </gml:LinearRing>
        </gml:exterior>
      </gml:Polygon>
    </gml:surfaceMember>
    <gml:surfaceMember>
      <gml:Polygon gml:id="tempid545">
        <gml:exterior>
          <gml:LinearRing>
            <gml:posList>3532528.98554331 5687430.88475057
185.805998802479 3532531.83254319 5687440.52175065 179.005998802479
3532528.98554331 5687430.88475057 179.005998802479 3532528.98554331
5687430.88475057 185.805998802479 </gml:posList>
          </gml:LinearRing>
        </gml:exterior>
      </gml:Polygon>
    </gml:surfaceMember>
  </gml:MultiSurface>
</bldg:lod3MultiSurface>

```

```

    </gml:LinearRing>
  </gml:exterior>
</gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
<gml:surfaceMember>
  <gml:Polygon gml:id="tempid546">
    <gml:exterior>
      <gml:LinearRing>
        <gml:posList>3532531.83254319 5687440.52175065
185.805998802479 3532551.96054369 5687434.58375045 185.805998802479
3532551.96054369 5687434.58375045 179.005998802479 3532531.83254319
5687440.52175065 185.805998802479 </gml:posList>
      </gml:LinearRing>
    </gml:exterior>
  </gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
<gml:surfaceMember>
  <gml:Polygon gml:id="tempid547">
    <gml:exterior>
      <gml:LinearRing>
        <gml:posList>3532531.83254319 5687440.52175065
185.805998802479 3532551.96054369 5687434.58375045 179.005998802479
3532531.83254319 5687440.52175065 179.005998802479 3532531.83254319
5687440.52175065 185.805998802479 </gml:posList>
      </gml:LinearRing>
    </gml:exterior>
  </gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
<gml:surfaceMember>
  <gml:Polygon gml:id="tempid548">
    <gml:exterior>
      <gml:LinearRing>
        <gml:posList>3532551.96054369 5687434.58375045
185.805998802479 3532549.11054331 5687424.94375058 185.805998802479
3532549.11054331 5687424.94375058 179.005998802479 3532551.96054369
5687434.58375045 185.805998802479 </gml:posList>
      </gml:LinearRing>
    </gml:exterior>
  </gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
<gml:surfaceMember>
  <gml:Polygon gml:id="tempid549">
    <gml:exterior>
      <gml:LinearRing>
        <gml:posList>3532551.96054369 5687434.58375045
185.805998802479 3532549.11054331 5687424.94375058 179.005998802479
3532551.96054369 5687434.58375045 179.005998802479 3532551.96054369
5687434.58375045 185.805998802479 </gml:posList>
      </gml:LinearRing>
    </gml:exterior>
  </gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
<gml:surfaceMember>
  <gml:Polygon gml:id="tempid550">
    <gml:exterior>
      <gml:LinearRing>
        <gml:posList>3532549.11054331 5687424.94375058
185.805998802479 3532528.98554331 5687430.88475057 185.805998802479
3532528.98554331 5687430.88475057 179.005998802479 3532549.11054331
5687424.94375058 185.805998802479 </gml:posList>
      </gml:LinearRing>
    </gml:exterior>
  </gml:Polygon>

```

```

        </gml:LinearRing>
      </gml:exterior>
    </gml:Polygon>
  </gml:surfaceMember>
  <gml:surfaceMember>
    <gml:Polygon gml:id="tempid551">
      <gml:exterior>
        <gml:LinearRing>
          <gml:posList>3532549.11054331 5687424.94375058
185.805998802479 3532528.98554331 5687430.88475057 179.005998802479
3532549.11054331 5687424.94375058 179.005998802479 3532549.11054331
5687424.94375058 185.805998802479 </gml:posList>
        </gml:LinearRing>
      </gml:exterior>
    </gml:Polygon>
  </gml:surfaceMember>
</gml:MultiSurface>
</bldg:lod3MultiSurface>
</bldg:Building>
</core:cityObjectMember>
<app:appearanceMember>
  <app:Appearance>
    <app:surfaceDataMember>
      <app:X3DMaterial>
        <app:shininess>0</app:shininess>
        <app:transparency>0</app:transparency>
        <app:ambientIntensity>0</app:ambientIntensity>
        <app:specularColor>0 0 0</app:specularColor>
        <app:diffuseColor>0.699999988079071 0.699999988079071
0.699999988079071</app:diffuseColor>
        <app:emissiveColor>0 0 0</app:emissiveColor>
        <app:isSmooth>false</app:isSmooth>
        <app:target>#tempid542</app:target>
        <app:target>#tempid543</app:target>
        <app:target>#tempid544</app:target>
        <app:target>#tempid545</app:target>
        <app:target>#tempid546</app:target>
        <app:target>#tempid547</app:target>
        <app:target>#tempid548</app:target>
        <app:target>#tempid549</app:target>
        <app:target>#tempid550</app:target>
        <app:target>#tempid551</app:target>
      </app:X3DMaterial>
    </app:surfaceDataMember>
  </app:Appearance>
</app:appearanceMember>
</core:CityModel>

```