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

OGC-konforme Bereitstellung dreidimensionaler Geodaten

am Beispiel der Stadt Frankfurt am Main

vorgelegt von

B. Eng. Nicole Šaravanja
U1367, UNIGIS MSc Jahrgang 2008

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

Gutachter:
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl
Prof. Dr.-Ing. Robert Seuß

Frankfurt am Main, 30.03.2010

Danksagung

Mein Dank gilt dem Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main, für die erfolgreiche Zusammenarbeit und großzügige Datenbereitstellung, CPA Systems GmbH und dem Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung für die unkomplizierte Bereitstellung von Softwarekomponenten und Professor Dr.-Ing. Robert Seuß für die fortwährende Unterstützung. Besonderer Dank gilt meiner Familie, sowie Christin, Madeleine, Jens und Philipp.

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.

Ort und Datum eigenhändige Unterschrift

Kurzfassung

Der Aufbau von Geodateninfrastrukturen (GDI) ist derzeit das beherrschende Thema im Bereich der Geoinformation. Nicht zuletzt die INSPIRE-Direktive treibt den Aufbau solcher Infrastrukturen für einen interoperablen Austausch von Geodaten voran. Dabei reichen die Bereitstellungs- und Berichtspflichten von der supranationalen bis in die kommunale Ebene.

Ein zunehmend wichtiges Thema ist die standardisierte, webbasierte Bereitstellung von hochpräzisen dreidimensionalen Geodaten, welche hauptsächlich auf kommunaler Ebene geführt, bereit gestellt und genutzt werden. So verlangt die EU-Richtlinie zur Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm z. B. ab 2012 auch Kommunen ab einer Einwohnerzahl von 100.000 3D-Stadtmodelle zur Berechnung von Lärmausbreitung vorzuhalten.

Die Nutzung der durch das Open Geospatial Consortium (OGC) definierten Standards ermöglicht den interoperablen und softwareunabhängigen Austausch von Geodaten. Der Vorteil standardkonform gehaltener 3D-Geodaten liegt vor allem in den Möglichkeiten der Nutzbarmachung für eine breite Anwenderschaft. Erst durch eine Mehrfachnutzung der zum Teil immer noch sehr teuer erfassten Daten können Mehrwerte generiert und die kostenintensive Haltung und Fortführung der Daten legitimiert werden. Zudem gestaltet sich im Bereich der öffentlichen Verwaltung die Datenbeschaffung mitunter schwierig, eine dienstebasierte Einbindung der Daten, auf Basis standardisierter Schnittstellen ermöglicht eine dezentrale Datenhaltung direkt beim Datenanbieter – dieser kann „seine“ Originaldaten bei sich behalten und anderen zur Verfügung stellen. Die dezentrale Datenhaltung beim Datenanbieter bringt außerdem Vorteile hinsichtlich der Aktualität mit sich. Datennutzer greifen quasi in Echtzeit auf die Originaldaten bzw. das, was der Datenanbieter davon freigeben möchte, zu. Die standardkonforme Bereitstellung der Daten bietet sich auch im Sinne einer Prozessorientierung an. So können 3D-Geodaten in Geschäftsprozesse beim Fachanwender eingebunden werden. Eine nachhaltige Nutzung ist z. B. durch Erweiterbarkeit der Daten bzw. Datenmodelle gewährleistet.

Vorliegende Thesis untersucht die Bereitstellung von dreidimensionalen Geodaten der Stadt Frankfurt am Main, unter Berücksichtigung bestehender technischer Standards und verwaltungsrechtlicher Rahmenbedingungen, die auf EU-, Bundes- und Landesebene bestehen.

Abstract

The development of spatial data infrastructures (SDI) is the dominant issue in the field of spatial information at present. The INSPIRE directive plays an important role in the establishment of such infrastructures for an interoperable exchange of spatial data. The obligation of maintaining certain content and making it available also affects the municipal level. An increasingly important topic is the standardized, web-based supply of highly precise three-dimensional spatial data, which is stored, made available and maintained mainly by municipalities.

For example, from 2012 local authorities will have to maintain a virtual 3D city model for urban areas having a population in excess of 100000 persons for the calculation of noise propagation.

The use of the standards established through the Open Geospatial Consortium (OGC) facilitates the interoperable and software-independent exchange of spatial data. The advantage of a standard compliant storage of three-dimensional data lies in the possibilities of using it for a broad user base. The acquisition and maintenance of virtual 3D city models is still very expensive, so these expanses have to be legitimized in a way. The reuse of this data in different application fields seems to be the solution.

The service oriented approach of web services standards made available by the OGC makes it possible to merge services and data into business processes for specialized user. Sustainability is ensured e.g. by expandability of the data and/or data models.

This Thesis gives an overview to three-dimensional spatial data, to OGC specifications for the supply of three-dimensional spatial data in a SDI and points finally exemplary application possibilities for providing and using three-dimensional spatial data.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung I

Erklärung der eigenständigen Abfassung der Arbeit II

Kurzfassung III

Abstract IV

Inhaltsverzeichnis V

Abbildungsverzeichnis VIII

Tabellenverzeichnis X

Abkürzungsverzeichnis XI

1 Einleitung 1

1.1 Motivation 1

1.2 Ziele 2

1.3 Struktur der Arbeit 4

2 Dreidimensionale Geodaten 5

2.1 3D-Geobasisdaten 5

2.1.1 Luftbilder 6

2.1.2 Laserscandaten 7

2.1.3 Digitale Geländemodelle 7

2.2 3D-Geofachdaten 10

2.2.1 3D-Stadtmodelle 11

2.2.2 Weitere 3D-Geofachanwendungsbereiche 16

2.3 Forschungsansätze zur 3D-Geodatennutzung 20

2.3.1 Aktuelle Forschungsprojekte 20

2.3.2 Web 2.0 - User Generated Content 21

2.3.3 Trends 22

2.4 Normen und Standards für 3D-Geodaten 23

2.4.1 Keyhole Markup Language (KML) 26
2.4.2 City Geography Markup Language (CityGML) 29
2.4.3 Web Feature Service (WFS) 31
2.4.4 Web Coverage Service (WCS) 32
2.4.5 Web 3D Service (W3DS) 32
2.4.6 Web View Service (WVS) 37
2.4.7 3D-Symbology Encoding (3D SE) 40
2.5 Rahmenbedingungen für die Nutzung von 3D-Geodaten in der öffentlichen Verwaltung 42
2.5.1 AFIS, ALKIS und ATKIS 42
2.5.2 E-Government-Initiativen 43
2.5.3 Infrastructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE) 47
2.5.4 Weitere EU-Richtlinien 48
2.5.5 Service Oriented Architecture (SOA) 48
3 Werkzeuge zur Verarbeitung von 3D-Geodaten 51
3.1 Reine Visualisierung 52
3.1.1 Digitale Globen 52
3.1.2 Browserbasierte Visualisierung 53
3.2 Visualisierung und Analyse 54
3.3 Datenbereitstellung 55
3.4 Zusammenfassende Bewertung der 3D-Werkzeuge 57
4 Stand und Anwendung am Beispiel der Stadt Frankfurt am Main 58
4.1 Datenbestand 3D 58
4.2 Datenhaltung 3D 59
4.3 Datenbereitstellung 3D 59
4.4 Beschreibung kommunaler 3D-Use-Cases 61
4.4.1 Entscheidungsunterstützung in der Bauaufsicht 61
4.4.2 Visualisierung von Planungsvarianten 63
4.4.3 Solarpotenzial On-Demand 64

4.4.4 Wärmebedarfskataster 67
5 Prototypische Umsetzung eines ausgewählten Use-Cases 69
5.1 Implementierung des Use-Case „Solarpotenzial On-Demand" 70
5.2 Ergebnisse 73
5.3 Analyse der Ergebnisse 74
6 Fazit 76
6.1 Zusammenfassung und Diskussion wesentlicher Erkenntnisse 76
6.2 Ausblick auf zukünftige Entwicklungen 78
7 Literaturverzeichnis 80
Anhang A: Bewertungsmatrix 3D-Werkzeuge 84

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit 4
Abbildung 2: 3D-Monitor 6
Abbildung 3: Funktionsweise des 3D-Monitors 6
Abbildung 4: DGM50 des Bundeslandes Hessen 12
Abbildung 5: LOD1- Modell Alte Oper Frankfurt 13
Abbildung 6: LOD2- Modell Alte Oper Frankfurt 13
Abbildung 7: LOD3- Modell Alte Oper Frankfurt 14
Abbildung 8: Tiefgaragenausfahrt 15
Abbildung 9: Gebäudedurchfahrt mit Blick auf die Straße 15
Abbildung 10: U-Bahn-Haltestelle Römer 15
Abbildung 11: Visualisierung der Lärmkartierung im HessenViewer 17
Abbildung 12: Beispiel für eine 3D-Lärmausbreitungskarte 17
Abbildung 13: 3D-Volumenmodell der Hydrostratigrafie, Bitterfeld 19
Abbildung 14: VEPs: Online Public Participation 21
Abbildung 15: Zusammenspiel verschiedener Normungs- / Standardisierungsorganisationen 24
Abbildung 16: Spezifikationen rund um 3D-Geodaten 25
Abbildung 17: Ansicht KML-Modell der FH FFM in Google Earth 28
Abbildung 18: Ansicht des KML-Modell der FH FFM in Google Maps 28
Abbildung 19: Beschreibung der Beobachterposition in KML 29
Abbildung 20: Erforderliche Leistungsfähigkeit Client und Server 34
Abbildung 21: HTTP GET-Request W3DS 35
Abbildung 22: Ansichts-Parameter der GetScene Anfrage 36
Abbildung 23: WVS-Bild-Layertypen 38
Abbildung 24: Mögiche Integration des WVS in GDI 40
Abbildung 25: Platzierungseigenschaften von 3D-Objekten 41
Abbildung 26: Architektur der GDI-DE 43
Abbildung 27: Dienste-Architektur von VBORIS 45
Abbildung 28: SOA-Referenzmodell 49
Abbildung 29: Allgemeines Publish-Find-Bind-Muster 50
Abbildung 30: Publish-Find-Bid auf GDI-DE übertragen 50
Abbildung 31: Beispiel 1: LOD 2 56
Abbildung 32: Beispiel 1: LOD 3 56

Abbildung 33: Beispiel 2: LOD 2 56
Abbildung 34: Beispiel 2: LOD 3 56
Abbildung 35: 3D-Datenaustausch bei der Stadt Frankfurt am Main 60
Abbildung 36: Use-Case-Diagramm: Bauaufsicht 61
Abbildung 37: Use-Case-Diagramm: 3D-Planungsvarianten 63
Abbildung 38: Use Case Diagramm: Solarpotenzial On-Demand 65
Abbildung 39: Use-Case-Diagramm: Wärmebedarfskataster 67
Abbildung 40: Funktionsweise Web-Services 70
Abbildung 41: Funktionsweise "Solarpotenzial On-Demand" 71
Abbildung 42: 3D-Visualisierung des Solarpotenzials 72
Abbildung 43: Integration in den Internetauftritt der GDI-Testplattform 73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Amtliche digitale Geländemodelle....8
Tabelle 2: Verfügbarkeit Digitale Geländemodelle....10
Tabelle 3: Genauigkeitsanforderungen nach CityGML (Quelle: Gröger et al., 2008) ...30
Tabelle 4: Use Case "Entscheidungsunterstützung Bauaufsicht" 62
Tabelle 5: Use-Case "3D-Planungsvarianten" 63
Tabelle 6: Use Case "Solarpotenzial On-Demand" 65
Tabelle 7: Use-Case "Wärmebedarfskataster" 68

Abkürzungsverzeichnis

3D SE	3D-Symbology Encoding
AAA bzw. 3A	AFIS-ALKIS-ATKIS
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AFIS	Amtliches Festpunktinformationssystem
ALB	Automatisiertes Liegenschaftsbuch
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
AS	Abstract Specifications
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BKG	Bundesamt für Kartografie und Geodäsie
BMI	Bundesministerium des Innern
CEN	Europäische Komitee für Normung
CIR	Color-Infrarot
CityGML	City Geography Markup Language
COLLADA	COLLAborative Design Activity
DGM	Digitales Geländemodell
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DOL	Deutschland-Online
DSGK	Digitalen Stadtgrundkarte
EU	Europäische Union
EuroDEM	Digitales Geländemodell von Europa

FOV	Field of View
GDI	Geodateninfrastruktur
GDI-DE	Geodateninfrastruktur Deutschland
GeoInfoDok	Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens
GeoZG	Geodatenzugangsgesetz
GIS	Geografisches Informationssystem
GML	Geography Markup Language
HLBG	Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation
HTML	Hypertext Markup Language
HVBG	Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation
HVGG	Hessisches Vermessungs- und Geoinformationsgesetzes
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Infomation in Europe
IS	Implementation Specification
ISO	International Organization for Standardization
KML	Keyhole Markup Language
KMZ	komprimierte KML
LOD	Level Of Detail
NAS	Normbasierte Austauschschnittstelle
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
NRW	Nordrhein-Westfalen
OGC	Open Geospatial Consortium
ÖPNV	Öffentlicher Personen-Nahverkehr

OSM	OpenStreetMap
OWS	OGC Web Service
POC	Point of Camera
POI	Point of Interest
RGB	rot-grün-blau Frabraum
SAGA	Standards und Architekturen für E-Government-Anwendungen
SE	Symbology Encoding
SIG 3D	Special Interest Group 3D
SLD	Styled Layer Descriptor
SOA	Service Oriented Architecture
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TC	Technische Komitee
TIN	Triangulated Irregular Network
UDDI	Universal Description, Discovery and Integration protocol
USGS	United States Geological Survey
VBORIS	Vernetztes Bodenrichtwertinformationssystem
VEPs	Virtual Environmental Planning System
VRML	Virtual Reality Modelling Language
W3C	World Wide Web Consortium
W3DS	Web 3D Service
WCS	Web Coverage Service
WFS	Web Feature Service
WMS	Web Map Service

WPS	Web Processing Service
WPVS	Web Perspective View Service
WSDL	Web Service Description Language
WTS	Web Terrain Service
X3D	Extensible 3D
XML	Extensible Markup Language

1 Einleitung

Das erste Kapitel gibt eine Einführung in die Aufgabenstellung der vorliegenden Master Thesis, die Motivation zur Bearbeitung des Themas, die Ziele, die mit der Bearbeitung dieser Thesis verfolgt werden und schließlich die inhaltliche Struktur der vorliegenden Arbeit.

1.1 Motivation

Der Aufbau von Geodateninfrastrukturen (GDI) ist das derzeit beherrschende Thema im Bereich der Geoinformation. Nicht zuletzt die INSPIRE-Direktive treibt den Aufbau solcher Infrastrukturen für einen interoperablen Austausch von Geodaten voran. Dabei reichen die Bereitstellungs- und Berichtspflichten bis in die kommunale Ebene.

Ein zunehmend wichtiges Thema ist die standardisierte, webbasierte Bereitstellung von hochpräzisen dreidimensionalen Geodaten, welche hauptsächlich auf kommunaler Ebene geführt, genutzt und bereit gestellt werden. So werden z. B. ab 2012 auch Kommunen ab einer Einwohnerzahl von 100.000 3D-Stadtmodelle zur Berechnung von Lärmausbreitung vorhalten müssen.

Verschiedene Faktoren haben die Erstellung von 3D-Stadtmodellen in den letzten Jahren wirtschaftlich erschwinglicher gemacht. So wird z. B. eine performante Verarbeitung von Laserscandaten durch Entwicklungen im Bereich der Softwaresysteme ermöglicht. Zudem sorgen weitestgehend automatisierte Ableitungsalgorithmen für moderatere Preise. Nichtsdestotrotz stellt die Erhebung und Fortführung dieser Modelle einen erheblichen Kostenfaktor dar, den es durch eine möglichst breitgefächerte Nutzung der 3D-Stadtmodelle zu legitimieren gilt.

Die Nutzung der durch das Open Geospatial Consortium (OGC) definierten Standards ermöglicht den interoperablen und softwareunabhängigen Austausch von Geodaten. Die offene Dokumentation dieser Standards birgt hohes Potenzial, da Informationen zur Implementierung von z. B. standardisierten Schnittstellen leicht verfügbar sind. An der Entwicklung der OGC-Standards wirkt eine Vielzahl von Experten mit, somit scheint ein breites Spektrum an Sichtweisen (z. B. Anwendungsfälle und potentielle Nutzer) berücksichtigt. Die hohe Akzeptanz der OGC-Spezifikationen, von denen einige bereits als ISO-Normen übernommen wurden, schafft Entwicklungssicherheit, sowohl bei Software-Herstellern, als auch bei Datenanbietern.

Der webbasierter Zugriff auf dreidimensionale Geodaten birgt zudem das Potenzial, eine große Anwenderschaft anzusprechen und so auch die Entwicklung von neuen Anwendungsfeldern für 3D-Geodaten zu erschließen. Die reine Verfügbarkeit von Geodaten, seien sie zwei- oder dreidimensional, hat seit einigen Jahren für ein neues, breites Anwenderspektrum gesorgt – Anwendungen wie Google Earth oder Google Maps sprechen seitdem ein breit gefächertes Publikum an.

1.2 Ziele

Die zentrale Forschungsfrage der vorliegenden Master Thesis lautet demnach wie folgt:

Welche Anwendungsgebiete für die OGC-konforme Bereitstellung dreidimensionaler Geodaten gibt es aus kommunaler Sicht?

Aus dieser Frage ergeben sich eine Reihe weiterer Fragen, wie z. B.

- Welche OGC-konformen Bereitstellungsformen für dreidimensionale Geodaten gibt es?
- Welche dreidimensionalen Geodaten werden auf kommunaler Ebene vorgehalten?
- Welche Anwendungsgebiete / Prozesse können durch eine webbasierte Bereitstellung benötigter dreidimensionaler Geodaten optimiert werden?

Im Rahmen dieser Arbeit wird also die Bereitstellung von dreidimensionalen Geodaten, wie sie auf kommunaler Ebene vorgehalten werden und zwar unter Berücksichtigung bestehender technischer Standards und verwaltungsrechtlicher Rahmenbedingungen, die auf EU-, Bundes- und Landesebene bestehen, untersucht. Die Betrachtung aus kommunaler Sicht ergibt sich zum Einen aus der Tatsache, dass hochpräzise dreidimensionale Geodaten, hauptsächlich auf kommunaler Ebene geführt, genutzt und bereit gestellt werden. Zum Anderen fließen auf kommunaler Ebene Geodaten aus verschiedensten Bereichen zusammen. Auch Institutionen auf kommunaler Ebene müssen sich demnach in regionale GDI, GDI des Landes, Bundes, bis hin zu multinationalen Geodateninfrstrukturen, wie INSPIRE, einordnen.

Grundsätzlich ist zwischen 3D-Datenproduzent und 3D-Datennutzer zu unterscheiden. Die 3D-Datenproduktion findet in den drei Ebenen Erfassung, Verwaltung und Analyse statt. Es folgt schließlich die Datenbereitstellung an den 3D-Datennutzer. Die Art der Datennutzung kann von einer einfachen Visualisierung bis zur Weiterverwendung in komplexen Analyse-Workflows und einer anschließenden erneuten Bereitstellung rei-

chen. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Bereitstellung von dreidimensionalen Geodaten. Da die Form einer angemessenen Bereitstellung jedoch von der angestrebten Anwendung abhängt bzw. abhängen sollte, bleibt die konkrete Anwendung immer Teil der Betrachtungen.

Nach Erarbeitung oben genannter Grundlagen werden, anhand von konkreten Umsetzungen in Form von anwendungsorientierten Fallbeispielen mit Daten aus der Region Rhein-Main, die technischen Möglichkeiten aufgezeigt und evaluiert. Zunächst ist hierfür eine Marktrecherche und Evaluation der verfügbaren Softwareprodukte (z. B. Web 3D Service-fähige Viewer) erforderlich. Es werden umsetzungsorientierte Erkenntnisse im Bereich der Bereitstellung dreidimensionaler Daten mittels Web Feature Service (WFS) und Web 3D Service (W3DS) angestrebt.

Darüber hinaus wird die Rolle dieser Dienste im Zusammenhang mit den Zielen und Architekturen übergeordneter Infrastrukturen untersucht. Die kommunale Sicht wird in Form von zu entwickelnden Use-Cases dargestellt. Aus den abstrakten Use-Cases können konkrete kommunale Referenzszenarien abgeleitet und in die Dienste-Umgebung einer GDI-Testplattform integriert werden. Von dort können sie als Beispielszenarien zur Verfügung gestellt werden. Derzeit wird im Labor für Geoinformation der Fachhochschule Frankfurt an dem Aufbau der GDI-Testplattform „INSPIRE-kommunal“ gearbeitet. Diese Plattform demonstriert die Möglichkeiten und Grenzen bei der Nutzung einer GDI, besonders im kommunalen Bereich. Die 3D-Komponente stellt eine logische Erweiterung der Testplattform dar. Der Vorteil einer Test-Umsetzung innerhalb der GDI-Testplattform besteht unter anderem darin, dass bestimmte Kriterien, z. B. die Performanz oder Interoperabilität betreffend, noch vor der Veröffentlichung in einer geschützten Umgebung geprüft und gegebenenfalls optimiert werden können. Verschiedene Services sind bereits in der GDI-Testplattform realisiert, sodass die Einordnung neuer, auf dreidimensionale Daten konditionierter Dienste in eine bestehende GDI untersucht werden kann. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind somit sowohl für die Kommunen, als auch für Datennutzer relevant.

Nicht Bestandteil dieser Arbeit ist die Erfassung dreidimensionaler Geodaten oder deren Haltung. Auch die Fortführung dreidimensionaler Datenbestände rückt nur als Fall von Datenbereitstellung (z. B. Bereitstellung neuer Gebäude in einem 3D-Stadtmodell) in den Fokus. Des Weiteren sollen auch keine eigenen Softwarekomponenten entwickelt werden.

1.3 Struktur der Arbeit

Die vorliegende Master Thesis gliedert sich grob in sechs Teile. Nach dem einleitenden Teil werden in Kapitel zwei die Grundlagen rund um 3D-Geodaten erarbeitet. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Beschreibung vorhandener 3D-Geodaten, in diesem Zusammenhang relevante Normen und Standards, sowie Rahmenbedingungen, die es in der öffentlichen Verwaltung bei der Nutzung von 3D-Geodaten zu beachten gilt. Kapitel drei gibt einen Überblick über am Markt verfügbare Werkzeuge für die Verarbeitung von 3D-Geodaten. Im vierten Teil der Thesis stehen die kommunalen Anwendungsfälle für die Bereitstellung von 3D-Geodaten im Fokus. Vor dem Hintergrund des derzeitigen 3D-Datenbestandes des Stadtvermessungsamtes Frankfurt am Main werden kommunale 3D-Use-Cases konzipiert. Die prototypische Umsetzung eines ausgewählten Use-Case wird schließlich in Kapitel fünf beschrieben. Die Thesis schließt mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse, einer Diskussion wesentlicher Punkte und dem Ausblick auf zukünftige Entwicklungen.

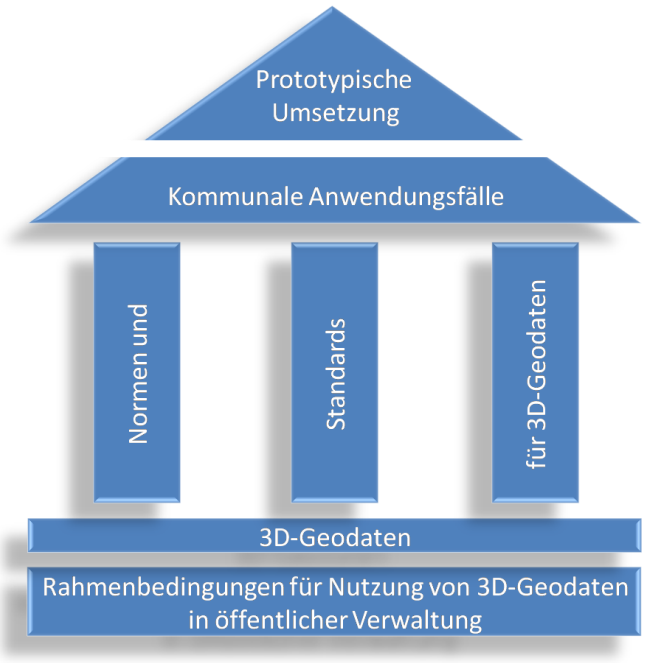

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit

In Abbildung 1 ist der Aufbau der Arbeit skizziert. Das Fundament besteht aus den Rahmenbedingungen, vor deren Hintergrund 3D-Geodaten in der öffentlichen Verwaltung gehalten und schließlich bereit gestellt werden. Für die Bereitstellung ist die Betrachtung existierender Normen und Standards unerlässlich. Aufbauend auf diesen Grundlagen zeichnen sich kommunale Anwendungsfälle für die Bereitstellung dreidimensionaler Geodaten ab, die schließlich prototypisch umgesetzt werden können.

2 Dreidimensionale Geodaten

In den nachfolgenden Abschnitten dieses Kapitels wird ein Einstieg in die Schwerpunkte der vorliegenden Thesis gegeben und die wesentlichen Grundlagen werden erarbeitet. Nach einem Überblick über 3D-Geobasis- und 3D-Geofachdaten folgt die Betrachtung aktueller Forschungsansätze zur Nutzung von 3D-Geodaten. Anschließend werden die für die Erstellung dieser Arbeit relevanten Normen und Standards zum Datenaustausch innerhalb einer GDI beschrieben. Das Kapitel schließt mit einer Betrachtung der zu berücksichtigen Rahmenbedingungen zur Nutzung von 3D-Geodaten in der öffentlichen Verwaltung.

2.1 3D-Geobasisdaten

Nach der Definition von Ralf Bill sind Geodaten Daten über Objekte der realen Welt (Gegenstände, Geländeformen, Infrastrukturen), die als wesentliches Element einen Raumbezug innehaben, über den sie verknüpft und in Beziehung gesetzt werden können, um schließlich mittels GIS-Funktionalitäten neue Informationen aus ihnen ableiten zu können (vgl. Bill, R., 1999a, S.167). Die so genannten Geobasisdaten werden in Deutschland im Wesentlichen durch die Behörden des amtlichen Vermessungswesens der Länder bereit gestellt. Sie beschreiben interessens- bzw. anwendungsneutral die Erdoberfläche. Das AFIS-ALKIS-ATKIS-Projekt schafft unter der Federführung der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) den Rahmen für die digitale Bereitstellung der Geobasisdaten. Dabei handelt es sich um drei Informationssysteme: Das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS), welches Digitale Landschafts- und Geländemodelle umfasst, das Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS), welches sich derzeit in der Einführungsphase befindet (Integration aus Automatisierter Liegenschaftskarte (ALK) und Automatisiertem Liegenschaftsbuch (ALB)), sowie das Amtliche Festpunktinformationssystem (AFIS).

Die Geobasisdaten dienen den Geofachdaten auch im dreidimensionalen Bereich als Bezugsgrundlage. Unter dem Begriff der 3D-Geobasisdaten fallen z. B. digitale Geländemodelle (DGM). DGM liegen zwar in der Regel als 2,5D-Daten vor, da sie für jede Lagekoordinate nur einen Höhenwert vorsehen, dennoch dienen sie vielfältigen 3D-Geofachanwendungen als Grundlage, wie z. B. hydrologischen Fragestellungen oder 3D-Stadtmodellen. Die Geländepunkte zur Beschreibung des DGM werden wiederum

aus Luftbildern oder Laserscanning gewonnen. Sowohl Luftbilder als auch die Laserscandaten sind grundsätzlich den 3D-Geobasisdaten zuzuordnen und werden, ebenso wie DGM, nachfolgend beschrieben.

2.1.1 Luftbilder

Eine Quelle für 3D-Geodaten stellen Luftbilder dar, die als Geobasisdaten von der Landesvermessung zur Verfügung gestellt werden. Aufgenommen werden die Bilder mit einer Längsüberdeckung von 60% und einer Querüberdeckung von 30% (vgl. HLBGb). Dies ermöglicht eine stereoskopische Auswertung, z. B. an einem 3D-Monitor (siehe Abbildung 2), der eine stereoskopische Betrachtung von Bildpaaren (gleicher Bildausschnitt in unterschiedlichen Bildern) ermöglicht. Das Prinzip des 3D-Monitors wird in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Ein halbdurchlässiger Spiegel zwischen zwei identischen Bildschirmen ermöglicht die Überlagerung zweier Bilder. Eine Polarisationsbrille (Shutterbrille) verteilt die zuvor überlagerten Bilder auf jeweils ein Auge.

Abbildung 2: 3D-Monitor

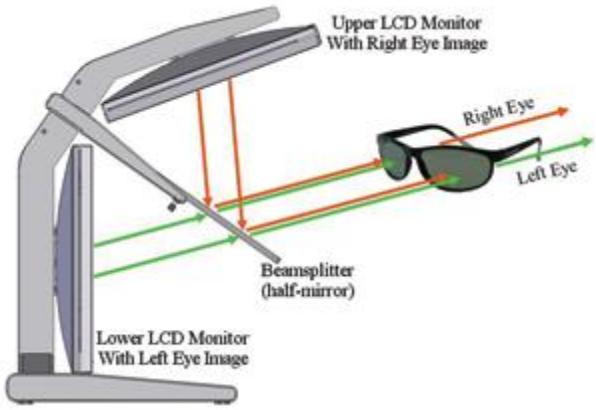

Abbildung 3: Funktionsweise des 3D-Monitors[1]

Ein auf diesem Wege aus orientierten Luftbildern erstelltes Stereomodell kann zur digitalen Gelände- und Oberflächenauswertung (Gebäude inklusive Dachformen, Vegetation,…) genutzt werden. Die Möglichkeiten zur Ableitung von 3D-Objekten reichen vom einfachen 3D-Punkt bis hin zu ganzen Stadtmodellen. Während DGM in der Regel automatisiert aus Luftbildern abgeleitet werden, kommen gerade in der Fortführung von 3D-Stadtmodellen häufig manuelle Verfahren der digitalen Stereoauswertung zum Einsatz.

[1] Quelle: http://www.planar3d.com/3d-technology/stereoscopic-101/

Die digitalen Luftbilder werden von den Landesvermessungsbehörden, inklusive Koordinaten des Projektionszentrums (Lagekoordinaten plus zugehörigen Höhenwert), sowie Orientierungsparameter und der Daten der Kamerakalibrierung zur Verfügung gestellt. Neben einem Farbluftbild (RGB) wird in der Regel auch ein mit Informationen aus dem nahen Infrarotbereich angereichertes Bild (Color-Infrarot, CIR) angeboten. Aus den CIR-Luftbildern lässt sich insbesondere Vegetation differenziert ableiten.

Im 3D-Bereich stellen Luftbilder zudem einen wichtigen Beitrag zur Visualisierung dar. Während Orthofotos (entzerrte Luftbilder) zur Texturierung von DGM dienen, können aus Schrägluftbildern Gebäudetexturen extrahiert werden.

2.1.2 Laserscandaten

Eine Alternative zu dem zuvor beschriebenen photogrammetrischen Verfahren in der Luftbildauswertung stellen flugzeuggetragen erfasste Laserscandaten dar. Das Ergebnis einer Befliegung mit dem Laserscanner sind dreidimensionale Punkte, die beim Abtasten der Erdoberfläche aufgenommen wurden. Neben den Lagekoordinaten und der zugehörigen Höhe, können jedem der Punkte noch weitere Informationen, wie z. B. Intensitätswerte zugeordnet sein.

Die Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation (HVBG) führt derzeit ein auf drei Jahre angelegtes Projekt zur landesweiten Laserscanbefliegung durch. Mit mindestens vier erfassten Punkten pro Quadratmeter und einer Genauigkeit von ±30 cm in der Lage und ±15 cm in der Höhe soll ganz Hessen bis 2012 per Laserscanning erfasst sein (vgl. HVBGa). Darüber hinaus wird dem von der AdV formulierten Ziel, bis 2013 bundesweit LOD1-Modelle anbieten zu können, Rechnung getragen. Ab 2010 wird seitens des Hessischen Landesamtes für Bodenmanagement und Geoinformation (HLBG) mit der Produktion eines hessischen LOD1 begonnen (vgl. Köhler, G., 2010). Die Laserscanndaten und die nachfolgend beschriebenen DGM dienen hierfür als Grundlage.

2.1.3 Digitale Geländemodelle

Mit Hilfe von DGM lassen sich Höheninformationen der Geländeoberfläche, wie sie z. B. aus den zuvor beschriebenen Luftbildern oder Laserscandaten abgeleitet werden präsentieren. Schon lange werden DGM auf verschiedensten Ebenen für vielfältige Anwendungen vorgehalten. Die Verfügbarkeit von DGM auf verschiedenen Ebenen in unterschiedlichen Ausprägungen machen sie für eine webbasierte Bereitstellung innerhalb einer GDI interessant. Daher werden derzeit verfügbare DGM nachfolgend genauer

betrachtet. Neben den in Deutschland verfügbaren Modellen wird auch ein Blick auf die international verfügbaren DGM geworfen.

Von amtlicher Seite sind in Deutschland digitale Geländemodelle verschiedener Auflösungen bzw. Genauigkeiten verfügbar (vgl. Tabelle 1). Sie wurden oder werden im Rahmen des ATKIS®-Projekts aufgebaut (vgl. ATKIS DGM).

Tabelle 1: Amtliche digitale Geländemodelle

Name	Kurzbezeichnung	Gitterweite [m]	Höhengenauigkeit [m]
Digitales Geländemodell 2	DGM2	1	± 0,15 bis 0,4
Digitales Geländemodell 5	DGM5	10	± 0,5 - 1
Digitales Geländemodell 25	DGM25	20	± 1 bis 3
Digitales Geländemodell 50	DGM50	100	± 3 bis 5
Digitales Geländemodell Deutschland	DGM-D	25 bzw. 50	± 1 bis 8
Digitales Geländemodell 250	DGM250	200 x 200	± 20
Digitales Geländemodell 1000	DGM1000	Ca. 1000 x 1000	mittlere Höhe in 30” x 50” - Gitter

Die Zuständigkeiten in der Bereitstellung der DGM teilen sich zwischen dem Bundesamt für Kartografie und Geodäsie (BKG) und den Landesvermessungsbehörden der Bundesländer auf. Das BKG stellt die DGM 1000, 250 und das DGM-D bereit, die Landesvermessungsbehörden die DGM der mittleren und höheren Auflösungen DGM 50, 25, 5 und 2. Grundsätzlich werden die DGM als Gittermodelle, die durch so genannte Strukturelemente (zusätzliche Geländeinformationen, z. B. Geländekanten, Geripplinien, markante Geländepunkte) ergänzt sein können.

Über die DGM von Bund und Land hinaus stellt das Stadtvermessungsamt Frankfurt Höhenraster, abgeleitet aus Laserscanndaten aus einer Befliegung, zur Verfügung. Diese Höhenraster werden derzeit in zwei Detaillierungsstufen, als 1m- und 5m-Raster, angeboten.

Auf europäischer Ebene liegt z. B. das digitale Geländemodell von Europa (EuroDEM) vor. Das EuroDEM ist ein aus den Datenbeständen der europäischen nationalen Kartografiebehörden zusammengesetztes DGM, welches eine Höhengenauigkeit von 8 bis 10 Metern aufweist und in einer Auflösung von 1 : 50 000 bis 1 : 100 000 vorliegt.

Es existiert flächendeckend für den Bereich der EU27-Länder und wird durch DGM weiterer europäischer Länder, wie Island, Norwegen, Schweiz, Kroatien, Bosnien und Herzegowina usw. ergänzt. Der Vertrieb erfolgt durch EuroGeographics (vgl. Eurogeographics).

In den Bereichen des EuroDEM, für die keine national erfassten Höheninformationen vorliegen, kommt die Höhendaten der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) zum Einsatz. Im Februar 2000 wurden im Auftrag der US-amerikanischen National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) sowie der National Aeronautics and Space Administration (NASA) etwa 80% der Erdoberfläche höhenmäßig erfasst. Das Ergebnis dieser Mission, ein Höhenmodell mit einer Höhengenauigkeit von ± 2 bis 7 Metern und einer Auflösung von 90m, wird vom Geologischen Dienst der Vereinigten Staaten (United States Geological Survey, USGS) für nicht-kommerzielle Anwendungen frei zur Verfügung gestellt. In Deutschland kommen die SRTM-Höhendaten z. B. im Projekt GDI3D der Universität Bonn zum Einsatz (vgl. Over M. et al., 2009). Es werden hier die frei verfügbaren Daten von OpenStreetMap (OSM, vgl. Abschnitt 2.3.2) mit den Höhendaten der SRTM zu „OpenStreetMap-3D“ verbunden (vgl. OpenStreetMap 3D Germany).

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die verschiedenen zuvor beschriebenen Höhenmodelle und ihre Nutzungsbedingungen.

Tabelle 2: Verfügbarkeit Digitale Geländemodelle

Produkt	Qualität (Auflösung bzw. Gitterweite / Höhengenauigkeit)	Nutzungsbedingung	Bemerkung
1m-DGM	1 x 1m / 15cm	15 € / 0,25km²	Mindestfestpreis 30 €
10m-DGM	10 x 10m / 15cm	9,75 € / 0,25km²	Mindestfestpreis 30 €
DGM2	1m	30 – 60 € / km²	30 € / km² ab Abnahmefläche >5000km²
DGM5	5 – 20m	25 – 50 € / km² bzw. 15 – 30 € / km²	15 bzw. 25 € / m² ab Abnahmefläche >5000km², günstiger Preis ohne Strukturinformationen
DGM25	21 – 50m	2 – 4 € / km²	2 € / m² ab Abnahmefläche >5000km²
DGM50	51 – 100m	0,75 – 1,5 € / km²	0,75 € / m² ab Abnahmefläche >5000km²
DGM-D	25 x 25 m	96.000 € / 357021 km²	Gesamtdatei Deutschland (15.000 MB)
DGM250	200 x 200m	1.200 € / 357021 km²	Gesamtdatei Deutschland (40 MB)
DGM1000	Ca. 1.000 x 1.000m	120 € / 357021 km²	Gesamtdatei Deutschland (12 MB)
EuroDEM	Ca. 60 x 60m / 8-10m	130.000 €	5-Jahreslizenz für gesamte Ausdehnung
SRTM	90 x 90 m (z. B. für Europa)	Frei	Für die nicht kommerzielle Nutzung

2.2 3D-Geofachdaten

Unter 3D-Geofachdaten sind die Daten zu verstehen, welche innerhalb bestimmter Fachdisziplinen erfasst bzw. zur Erfüllung von Aufgaben eines bestimmten Fachgebietes gehalten werden. Eine zentrale 3D-Geofachanwendung und ihrerseits Ausgangspunkt für eine Vielzahl weiterer Fachanwendungen im dreidimensionalen Bereich sind digitale 3D-Stadtmodelle. In den nachfolgenden Abschnitten wird zunächst das Thema

3D-Stadtmodelle vertieft und schließlich auf einige weitere 3D-Geofachanwendungen eingegangen.

2.2.1 3D-Stadtmodelle

Nach einer Definition des Städtetages Nordrhein-Westfalen handelt es sich bei 3D-Stadtmodellen um eine dreidimensionale Beschreibung der Erdoberfläche inklusive aller Aufbauten in digitaler Form (vgl. Städtetag NRW). D. h. dass ein 3D-Stadtmodell, neben einem DGM als Grundlage, 3D-Modelle aller baulichen Anlagen (existierende und / oder geplante Gebäude) beinhaltet. Darüber hinaus kann auch Vegetation (z. B. Bäume), und so genannte Straßenmöblierung (Beleuchtung, Haltestellen des ÖPNV, oder aus dem Bereich der Entsorgung Papierkorbstandorte sowie Bringsystemstandorte (Altpapier, Altglas, etc.)) Bestandteil eines 3D-Stadtmodells sein. Für eine noch ansprechendere und realitätsnähere Visualisierung kann ein solches Modell zudem um Texturen (synthetisch oder aus Fotos) ergänzt werden. Als raumbezogenen Informationssystemen, die dreidimensionale Zusammenhänge in urbanen Gebieten sowohl in Form von Visualisierungen als auch als Grundlage für Analysen in fachbezogenen Anwendungen beinhalten, kommt 3D-Stadtmodellen eine besondere Bedeutung innerhalb dieser Thesis zu. Fachbezogenen Anwendungen liegen z. B. in den Bereichen der umweltbezogenen Analysen, wie Umgebungslärmberechnungen, Untersuchungen zu Emission und Immission, Überschwemmungsszenarien, Solarpotenzialanalysen oder im Bereich von Planungsvisualisierungen oder Sichtbarkeitsanalysen, um nur ein paar Beispiele zu nennen. Zwar werden 3D-Modelle auch im privatwirtschaftlichen Bereich (z. B. Flughäfen oder Industrieanlagen) vorgehalten, der Schwerpunkt der Führung, Nutzung und Bereitstellung von flächendeckenden und hochpräzisen 3D-Stadtmodellen liegt jedoch vorwiegend auf kommunaler Ebene.

Die Anforderungen bezüglich der 3D-Stadtmodelle aus privater und fachlicher Öffentlichkeit sind in erster Linie flächendeckende und aktuelle Modelle. Für Akzeptanz in Fachkreisen (z. B. Planung) sorgt vor allem die Referenz auf amtliche Daten (Geobasisdaten, vgl. Abschnitt 2.1). Durch die standardbasierte Umsetzung, sowohl im Bereich der Datenerfassung und –haltung als auch im Bereich der Datenbereitstellung ist zudem eine gewisse Nachhaltigkeit gesichert. Auf diesen Umstand wird in Abschnitt 2.4 genauer eingegangen. Ein weiteres Bewertungskriterium von 3D-Stadtmodellen liegt im Detaillierungsgrad bzw. in der für bestimmte Anwendungen geforderten Genauigkeit. Die verschiedenen Detaillierungsgrade, so genannte Level Of Detail (LOD), gehen mit unterschiedlichen Genauigkeiten der Daten einher (vgl. Gröger et al., 2008). Eine ge-

schickte Kombination verschiedener LOD kann zur effizienten Visualisierung von 3D-Stadtmodellen genutzt werden. Nachfolgend werden die verschiedenen, angelehnt an die Definition, wie sie im Standard CityGML vorgenommen wurde, beschrieben (siehe auch Abschnitt 2.4.2).

2.2.1.1 Level Of Detail 0

Aus den vorangegangenen Abschnitten geht hervor, dass DGM als Grundlage für 3D-Stadtmodelle dienen. Somit verwundert es nicht, das DGM auch im Standard CityGML berücksichtigt wurden. Es werden verschiedene Detaillierungsgrade dreidimensionaler Modelle innerhalb von CityGML unterschieden, so genannte Level Of Detail. Das niedrigste Level Of Detail, LOD 0, definiert ein digitales Geländemodell (vgl. Abschnitt 2.1.3). Das DGM kann zur anschaulicheren Visualisierung mit Luftbildern oder z. B. thematischen Karten texturiert werden. Abbildung 4 zeigt das DGM50 des Bundeslandes Hessen, in Form einer Dreiecksvermaschung (Triangulated Irregular Network, TIN), eingefärbt mit einem nach Höhen abgestuftem Farbverlauf und dargestellt mit einer vertikalen Überhöhung um den Faktor fünf.

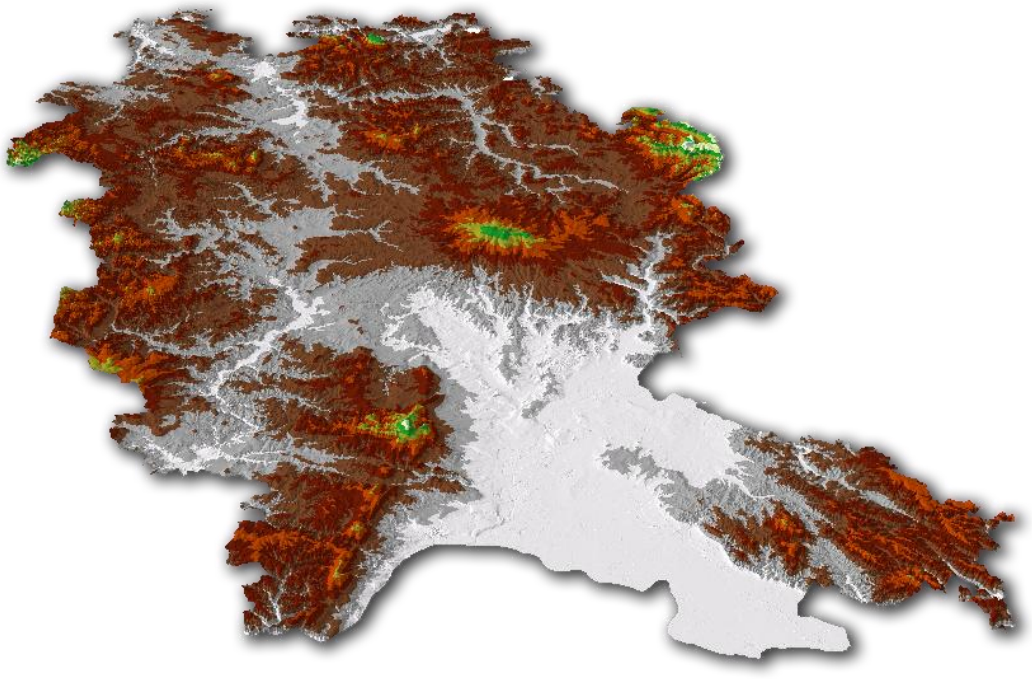

Abbildung 4: DGM50 des Bundeslandes Hessen

2.2.1.2 Level Of Detail 1

Das Level Of Detail 1 (LOD1) wird auch als Klötzchenmodell bezeichnet. Auf der Basis eines DGM werden Gebäude als einfache Klötzchen, ohne Dächer repräsentiert.

Die Erstelllung eines solchen Modells wird meist als Extrusion der 2D-Gebäudeflächen um einen bestimmten Höhenwert durchgeführt. Höhenwerte lassen sich z. B. anhand der Stockwerkszahl der einzelnen Gebäude schätzen, oder aus gemessenen Daten, wie z. B. Laserscanndaten einer Befliegung, ableiten. Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt aus dem 3D- Stadtmodell des Stadtvermessungsamtes Frankfurt.

Abbildung 5: LOD1- Modell Alte Oper Frankfurt Datengrundlage Stadtvermessungsamt Frankfurt

Das LOD1 wird hier auf der Basis der Digitalen Stadtgrundkarte (DSGK, vgl. Abschnitt 4.1) und einer mittleren Gebäudehöhe, die aus den Laserscanndaten abgeleitet wurde, erstellt.

2.2.1.3 Level Of Detail 2

Im Level Of Detail 2 (LOD2) werden die Klötzchen des LOD1 um Dachformen erweitert. Meist wird hier auf eine begrenzte Anzahl an Standard-Dachformen (Satteldach, Walmdach, etc.) zurückgegriffen. Teilweise kommen im LOD2 bereits Texturen für Gebäude und / oder Geländemodell zum Einsatz. Darüber hinaus kann das Modell um verschiedene Vegetations-Symbole, wie z. B. Bäume, erweitert werden. Abbildung 6 enthält eine Ansicht aus dem 3D-Stadtmodell des Stadtvermessungsamtes Frankfurt im LOD2. Um eine automatisierte Ableitung der Dachflächen (First- und Traufhöhen) zu ermöglichen, wurden die detaillierten Gebäudegrundrisse aus der Digitalen Stadtgrundkarte (DSGK) teilweise generalisiert. Die Genauigkeitsanforderungen, die sich aus dem CityGML-Standard ergeben (vgl. Abschnitt 2.4.2), sind dennoch erfüllt.

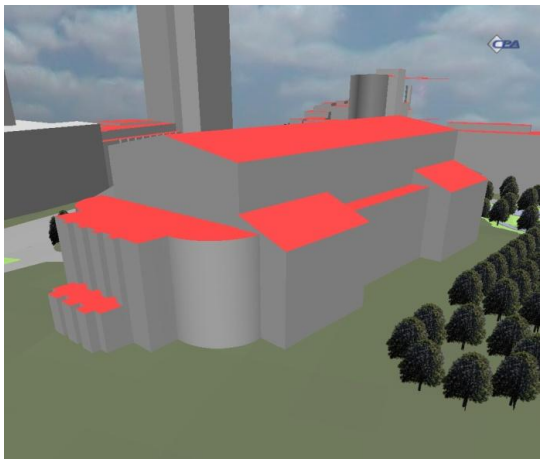

Abbildung 6: LOD2- Modell Alte Oper Frankfurt Datengrundlage Stadtvermessungsamt Frankfurt

2.2.1.4 Level Of Detail 3

Bei Level Of Detail 3 (LOD3) spricht man von einem detaillierten Architekturmodell. Differenzierte Dachformen, inklusive Dachaufbauten wie Gauben, sowie fein ausmodellierte Fassaden, unter Berücksichtigung von Balkonen und z. B. Durchfahrten zeichnen diese Detailstufe aus. Abbildung 7 zeigt den zuvor als LOD1 und LOD2 (Abbildung 5 bzw. Abbildung 6) betrachteten Ausschnitt aus dem 3D-Stadtmodell des Stadtvermessungsamtes Frankfurt. Im Gegensatz zu LOD1 und 2 liegt das Modell in LOD3 nicht flächendeckend für das Frankfurter Stadtgebiet vor. Landmarks wie z. B. Brücken wurden von externen Dienstleistern zugekauft, oder z. B.

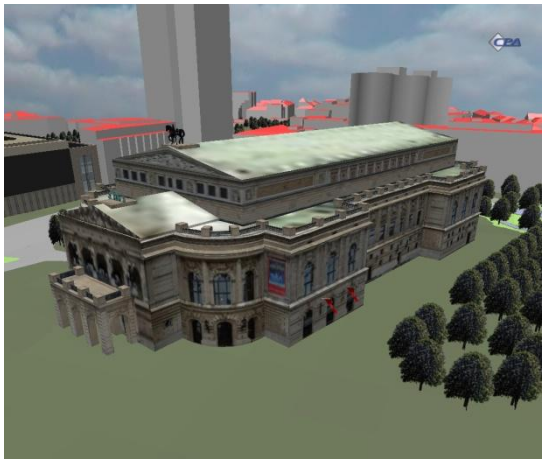

Abbildung 7: LOD3- Modell Alte Oper Frankfurt Datengrundlage Stadtvermessungsamt Frankfurt

aus Google Earth übernommen (vgl. Abschnitt 2.3.2). Darüber hinaus werden immer wieder projektbezogene 3D-Modelle höheren Detaillierungsgrad hergestellt. Diese werden, wie das Modell des Gebiets um den Frankfurter Römerberg (vgl. Abschnitt 2.2.1.5) in das 3D-Stadtmodell des Stadtvermessungsamtes eingebunden.

2.2.1.5 Level Of Detail 4

Das Level Of Detail 4 (LOD4) erweitert das LOD3 um den Innenraum von Bauwerken. In dieser Detaillierungsstufe können sogar einzelne Möbelstücke modelliert sein. Abbildung 8 bis Abbildung 10 zeigen Ausschnitte aus dem Projektgebiet rund um den Frankfurter Römerberg, modelliert von der Firma MailaPush.

Abbildung 8 zeigt den Blick aus der Tiefgarage heraus. In der Tiefgarage sind die Bordsteinkanten ausmodelliert worden, die Wände sind im Fall der Türen mit Fotoaufnahmen texturiert. Die Aussicht aus einer Gebäudedurchfahrt ist in Abbildung 9 zu sehen. Auf der Straße sind die aufwendig modellierten und texturierten Gebäudefassaden zu erkennen, außerdem werden Objekte wie Schilder, Bäume und Autos dargestellt. Abbildung 10 gibt die unterirdischen Strukturen der U-Bahnstation *Römer* wieder.

Eine ausführliche Beschreibung des 3D-Datenbestandes beim Stadtvermessungsamt Frankfurt wird in Kapitel 4 gegeben.

Abbildung 8: Tiefgaragenausfahrt
Datengrundlage Stadtvermessungsamt Frankfurt

Abbildung 9: Gebäudedurchfahrt mit Blick auf die Straße
Datengrundlage Stadtvermessungsamt Frankfurt

Abbildung 10: U-Bahn-Haltestelle Römer
Datengrundlage Stadtvermessungsamt Frankfurt

2.2.2 Weitere 3D-Geofachanwendungsbereiche

Die vorangegangene Beschreibung der verschiedenen Formen von 3D-Geodaten und ihren Detaillierungsgraden gibt einen ersten Eindruck davon, wie vielfältig 3D-Modelle einsetzbar sind.

Durch Anreicherung mit weiteren Fachdaten ergeben sich eine Reihe weiterer Anwendungsgebiete für 3D-Stadtmodelle. Schwerpunkte der 3D-Geofachanwendungen liegen in den Bereichen Analyse bzw. Simulation und der Visualisierung. Nachfolgend werden beispielhaft einige dieser Anwendungen, die speziell auf kommunaler Ebene eingesetzt werden, beschrieben.

2.2.2.1 Telekommunikation

Ursprünglich wurde der Aufbau von 3D-Stadtmodellen aus dem Bereich der Telekommunikation vorangetrieben. Mobilfunknetzbetreiber benötigten sie zur Berechnung der Funkwellenausbreitung, um eine möglichst flächendeckenden Netzabdeckung zu erreichen. Neben der Bebauung an sich sind fachbezogene Informationen wie die Oberflächenrauigkeit oder Reflexionseigenschaften von Oberflächen von Interesse auf diesem Gebiet. Durch Anreicherung eines 3D-Stadtmodells mit diesen fachbezogenen Informationen lassen sich schließlich simulationsgestützte Standortanalysen für Funkantennen realisieren.

2.2.2.2 Lärmausbreitung

Ein Motor zur Erstellung kommunaler 3D-Stadtmodelle war und ist die Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (2002/49/EG), die mit der Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) in deutsches Recht über ging. Stufe I der Richtlinie sieht zunächst die Ermittlung von Lärmbelastungen für Ballungsräume mit mehr als 250.000 Einwohnern vor, Stufe II verpflichtet auch Ballungsräume ab 100.000 Einwohner zur Erstellung von Lärmausbreitungskarten bis zum 30. Juni 2012. Von Stufe I der Umgebungslärmrichtlinie sind in Deutschland 27 Ballungsräume betroffen, Stufe II verpflichtet 71 deutsche Ballungsräume[2]. Neben diesen Ballungsräumen sind auch Orte, die ein bestimmtes Verkehrsaufkommen aufweisen, bei der Berechnung zu berücksichtigen. Als notwendige Datengrundlage ergeben sich demnach DGM, der Gebäudebestand in 3D sowie Informationen zur verkehrstechnischen Infrastruktur (Hauptverkehrsstraßen, Haupteisenbahnstrecken, Großflughäfen). Bezüglich des Detaillierungsgrades sind 3D-

[2] http://www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/ulr.html

Modelle der Gebäude im LOD1 (Klötzchenmodell) ausreichend. Es ist allerdings die Einbindung semantischer Informationen nötig. So sind z. B. die Nutzung der Gebäude (Wohnen, Krankenhäuser, Schulen etc.) und die Einwohnerzahlen zu berücksichtigen. Auf Grundlage der vorliegenden Daten und unter Berücksichtigung der vorgegebenen Berechnungsgrundlagen werden mittels GIS-gestützter Werkzeuge Lärmausbreitungskarten erstellt. Diese Karten dienen zum Einen der Erfüllung der Berichtspflicht gegenüber der EU und sollen zum anderen zur Information der Öffentlichkeit genutzt werden. In Hessen geschieht dies derzeit über den HessenViewer der GDI-Hessen[3] (vgl. Abbildung 11).

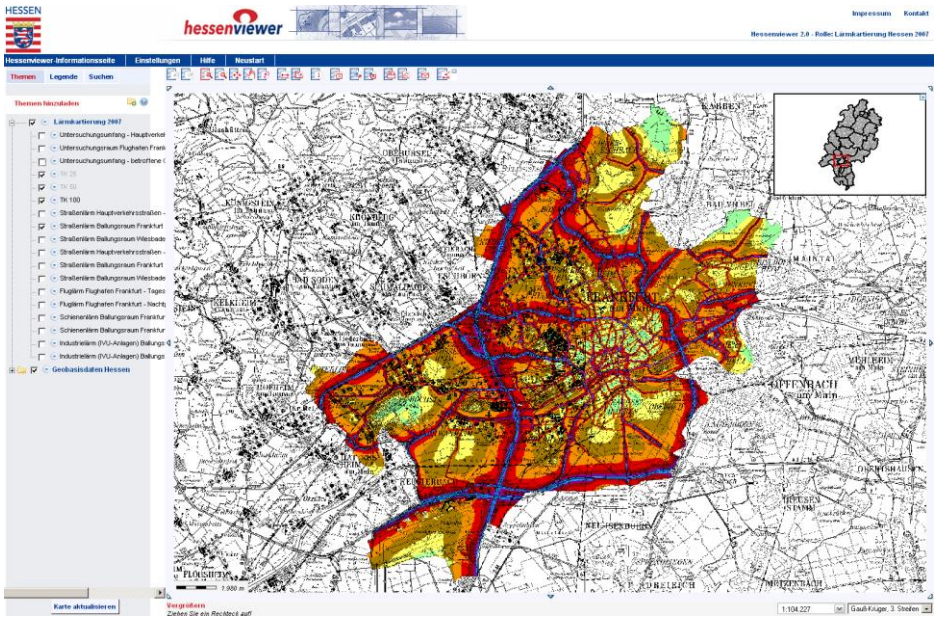

Abbildung 11: Visualisierung der Lärmkartierung im HessenViewer

Eine Erweiterung der Lärmkartierung um die dritte Dimension scheint in diesem Zusammenhang sinnvoll. Für den einzelnen Bürger bzw. Betroffenen wäre eine dreidimensionale Visualisierung dieser ursprünglich dreidimensionalen Sachverhalte die verständlichere und anschaulichere Form. Abbildung 12 zeigt ein Beispiel einer Lärmausbreitungskarte in 3D.

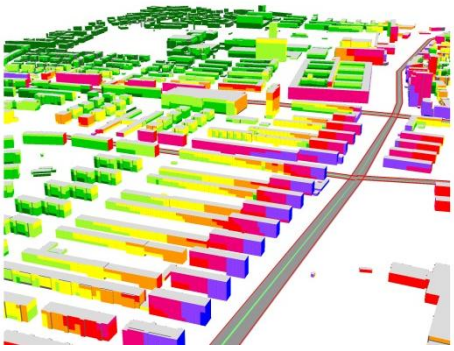

Abbildung 12: Beispiel für eine 3D-Lärmausbreitungskarte

[3] http://hessenviewer.hessen.de

2.2.2.3 Solarpotenzial

Eine weitere 3D-Geodatenfachanwendung aus dem Umweltbereich ist die Standortanalyse für Solaranlagen. Zur GIS-gestützten Berechnung des solaren Energiepotenzials ganzer Kommunen zeichnen sich im Wesentlichen zwei Wege ab:

Zum Einen die Berechnung auf Grundlage eines bereits bestehenden 3D-Gebäudemodells. Es wird in der Regel ein Modell in LOD 2 bis 3 verwendet, da differenzierte Dachformen für die Berücksichtigung eventueller Verschattungen und zur Bestimmung der Ausrichtung und Neigung potentiell geeigneter Dachflächen nötig ist[4].

Alternativ wird die Berechnung aus einer Kombination von Laserscandaten und amtlichen Gebäudegrundrissen vorgenommen. In diesem Fall werden die relevanten Faktoren (Verschattung, Ausrichtung, Neigung) der Dachflächen aus den per Flugzeug auf den Dächern der Gebäude erfassten Laserscandaten errechnet[5].

In beiden Modellen finden zudem Objekte, die ebenfalls für Verschattungen sorgen können (z. B. Bäume) sowie die Strahlung an sich Berücksichtigung.

2.2.2.4 Planung

3D-Modelle in der Stadtplanung dienen zum Einen den Planern als Grundlage für ihre Entwürfe (z. B. im Zuge der Stadtplanung, Stadtentwicklungsplanung, Aufstellung planungsrechtlicher Satzungen usw.) und werden zum Anderen zur Visualisierung z. B. im Zuge der Investorengewinnung oder Bürgerinformation eingesetzt. Ein präzises Modell mit einem hohen Detaillierungsgrad, der eine möglichst realitätsnahe Darstellung erlaubt, ist demnach in diesem Bereich gefordert. Ein Modell, das diesen Anforderungen gerecht wird, zeichnet sich u. a. durch folgende Elemente aus:

- Fein ausmodellierte Gebäudemodelle (mindestens LOD 3) auf der Basis amtlicher Daten
- Volltexturierte Oberflächen, möglichst durch fotografische Texturen
- Modellierung von Vegetation und Straßenmöblierung
- Evtl. Integration der Flächeninfrastruktur (Ausmodellierung der Straßenflächen, Differenzierung Fahrbahn(-beläge), Bordstein(-kante), etc.)
- Unterstützung verschiedener Planungsvarianten

[4] http://www.solarpotenzial.de/
[5] http://www.sun-area.net/

Zur ansprechenden und überzeugenden Visualisierung der oben genannten Elemente wird sich nicht selten in der Computerspiel-Industrie bedient. Gerade bei 3D-Modellen hohen Detaillierungsgrades mit einer großen räumlichen Ausdehnung kann es zu Darstellungsproblemen kommen. Leistungsfähige 3D-Spiele-Engines sorgen für eine performante Echtzeitvisualisierung bei intuitiver Navigation.

2.2.2.5 Unterirdische Strukturen

Eine aktuelle Entwicklung ist die Kombination von 3D-Stadtmodellen mit Informationen über unterirdische Strukturen. Anwendungsbereiche sind hier z. B. im Grundwasserschutz zu sehen. Die geologische Beschaffenheit des Untergrundes (Grundwasserstand / Bodenzusammensetzung) ist besonders im Zusammenhang der Realisierung von Bauvorhaben von Relevanz. Abbildung 13 Zeigt ein 3D-Modell des geologischen Untergrundes, abgeleitet aus Bohrinformationen. Ebenso können auf dem Gebiet der Versorgungsleitung unterirdische Leitungen in 3D modelliert werden. 3D-Analysen und Simulationen können so auch Auswirkungen auf unterirdische Strukturen berücksichtigen.

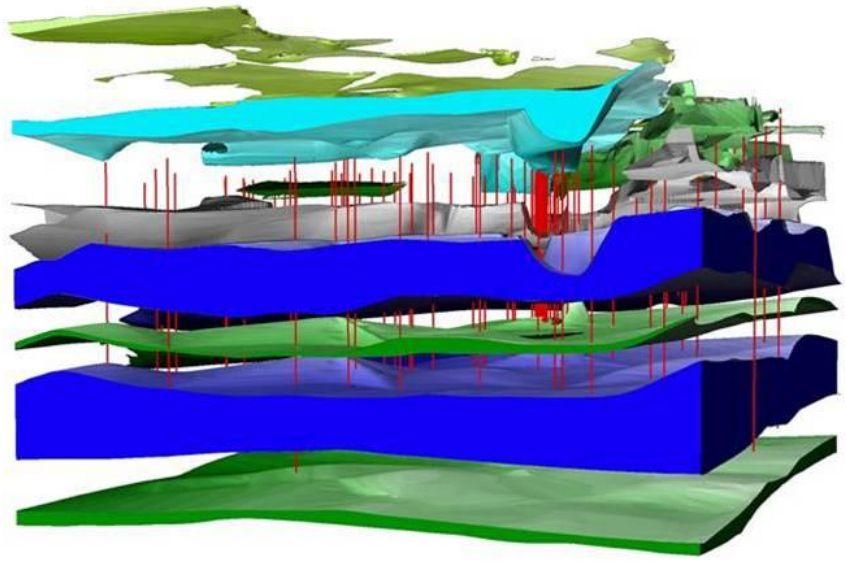

Abbildung 13: 3D-Volumenmodell der Hydrostratigrafie, Bitterfeld[6]

[6] http://www.3d-geology.de/im/1203504412_37_0.jpg, Stand: 06.03.2010

2.3 Forschungsansätze zur 3D-Geodatennutzung

In den nachfolgenden Abschnitten werden aktuelle Forschungsansätze auf dem Gebiet der 3D-Geodatennutzung betrachtet. Der Fokus liegt hierbei vor allem auf urbane Gebiete bzw. dem kommunalen Bereich und damit auf dem Austausch und der Nutzung von 3D-Satdtmodellen.

2.3.1 Aktuelle Forschungsprojekte

Aus dem Bereich der Forschung haben sich in den deutschsprachigen Ländern hinsichtlich 3D-Stadtmodellen vor allem nachfolgende Institutionen bzw. Projekte hervor getan.

Digital Cities

Im Zuge des Projektes „Digital Cities“ entsteht derzeit eine Software, mit Hilfe derer es möglich sein soll, die Prozesse einer Stadt digital abzubilden. Mit Hilfe von 3D-Stadtmodellen sollen nicht nur der Bereich der Planung, sondern auch Prozesse aus dem Facility Management abgewickelt werden können. Das 3D-Stadtmodell wird hier langfristig als Verwaltungsinstrument fungieren. Als Grundlage dient der LandXplorer der Firma Autodesk[7].

GDI3D

Im Projekt „GDI3D“ steht die Entwicklung von Softwarekomponenten für eine dreidimensionale Geodateninfrastruktur im Fokus. Insbesondere werden die durch das OGC spezifizierten Dienste auf ihre 3D-Tauglichkeit geprüft und eventuell erweitert. Ein Produkt, welches aus dem Projekt „GDI3D“ entstand, ist der *XNavigator*, eine Web 3D Service fähige Client Komponente (vgl. Abschnitt 3).[8]

VEPs

Im durch die EU geförderten Projekt Virtual Environmental Planning System (VEPs) wurden von 2003 bis 2008 unter anderem 3D-Anwendungen entwickelt. Ziel der Anwendungen war die Beteiligung an Planungsprozessen[9]. So konnte z. B. ein Prototyp zur 3D-Beteiligung an Planungsprozessen erstellt werden. Abbildung 14 zeigt eine Demoversion des Prototyps. Links ist die 3D-Szene mit interaktiven Navigationsmöglich-

[7] http://zgis16.plus.sbg.ac.at/research/index.php?option=com_content&view=article&id=76:kooperation-autodesk&catid=45:institutional-funding&Itemid=83, Stand 13.03.2010
[8] http://www.gdi-3d.de/, Stand: 13.03.2010
[9] http://www.veps3d.org/site/142.asp, Stand 13.03.2010

keiten in die Seite integriert, auf der rechten Seite gibt ein Forum die Möglichkeit zur Kommentierung der Planungsentwürfe.

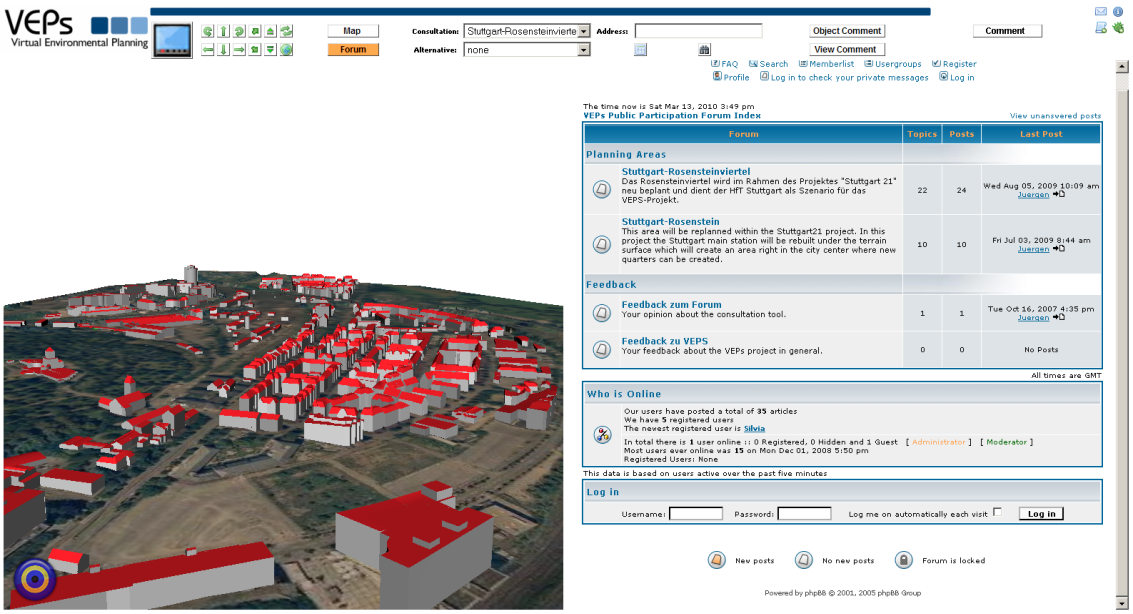

Abbildung 14: VEPs: Online Public Participation[10]

2.3.2 Web 2.0 - User Generated Content

Den „Auftakt“ für die Bereitstellung von nutzergenerierten Geodaten im „Mitmach-Web“, dem so genannten Web 2.0, hat sicherlich Google mit seinen Kartenanwendungen Google Maps und Google Earth geliefert. Neben Google stellt mittlerweile auch Microsoft freie 3D-Modellierungssoftware zur Verfügung. So können Nutzer selbst 3D-Modelle erstellen und schließlich über die Plattformen, die durch die digitalen Globen, von Microsoft, Google und Co. zur Verfügung gestellt werden, austauschen. Neben den Kommunen, die diese Plattformen nutzen, um ihre 3D-Stadtmodelle öffentlichkeitswirksam im Internet zu platzieren, werden die Plattformen mitunter auch in umgekehrter Weise genutzt. So nutzt das Stadtvermessungsamt Frankfurt durchaus auch Modelle, die von Nutzern für Google Earth bereitgestellt werden, um diese nach einer Qualitätsprüfung und gegebenenfalls Anpassung in ihr LOD 3 Modell zu übernehmen.

Eine Empfehlung des Deutschen Städtetags lautet zwar, vorerst keine Daten aus kommunalen 3D-Stadtmodellen direkt an Google abzugeben, die Möglichkeit, die eigenen Daten von eigenen Servern über den so genannten Netzwerklink anzubieten, wird je-

[10] http://wwwdev.hft-stuttgart.de/ParticipationP3/frame.html, Stand: 13.03.20110

doch als praktikable Lösung anerkannt, um 3D-Stadtmodelle einem möglichst großen Nutzerkreis zur Verfügung zu stellen (vgl. Deutscher Städtetag).

Ein voll auf nutzergenerierten Inhalt setzendes Projekt ist OpenStreetMap[11]. Mit dem Ziel, eine freie Weltkarte zu schaffen, werden ganz im Open-Source-Sinne Karteninhalte vielfältiger Art gesammelt und bereit gestellt. Die Brücke zwischen OpenStreetMap und 3D-Geodaten schlägt das Projekt „OpenStreetMap-3D“. Es werden hier die frei verfügbaren Daten von OpenStreetMap mit den Höhendaten der SRTM zu „OpenStreetMap-3D“ verbunden (vgl. Abschnitt 2.1.3 bzw. OpenStreetMap 3D Germany).

Bezüglich Navigation in nutzergenerierten Modellen hat sich vor allem im Bereich der 3D-Fußgängernavigation das Forschungsprojekt der Universität Bonn hervorgetan und bietet aufbauend auf den Daten aus Open Street Map Routing-Anwendungen[12].

2.3.3 Trends

Als Trends im 3D-Bereich zeichnen sich vor allem mobile Anwendungen vielfältiger Art ab. Die 3D-Navigation innerhalb von Gebäuden ist nur ein Beispiel. Ein weiterer Ansatz sind Anwendungen von Augmented Reality gepaart mit 3D-Modellen. Hier existieren bereits fertige Anwendungen (z. B. wikitude.org oder layar.eu), die sich gerade am Markt etablieren.

Abzuwarten bleibt, inwiefern sich die Einbindung von OGC-Standards in Mainstream-Produkte, wie z. B. Google Earth oder Microsoft Bing Maps weiter entwickelt. Zumindest in Google Earth kann auf eine WMS-Schnittstelle zurückgegriffen werden.

[11] http://www.openstreetmap.de, Stand: 28.03.2010
[12] http://www.openrouteservice.org, Stand: 28.03.2010

2.4 Normen und Standards für 3D-Geodaten

Im vorliegenden Abschnitt wird zunächst ein Überblick über die wichtigsten Standardisierungs- und Normungsorganisationen im Bereich der Geoinformationen gegeben. Im Anschluss werden die für die vorliegende Arbeit als relevant angesehen OGC Spezifikationen im Einzelnen beschrieben.

Die wichtigste Standardisierungsorganisation im Bereich der Geoinformationen ist das Open Geospatial Consortium (OGC). Das OGC definiert sich selbst als ein Industriekonsortium, das in einem konsensorientierten Prozess öffentlich verfügbare Schnittstellenspezifikationen entwickelt. Die zurzeit 395 Mitglieder (Stand März 2010) kommen aus der Industrie, Regierungsorganisationen und Hochschulen[13]. In einem Diskussionsprozess werden die Spezifikationen des OGC von den Mitgliedern selbst entwickelt und schließlich vom OGC als Spezifikation veröffentlicht. Es wird dabei zwischen *Abstract Specifications (AS)* auf konzeptioneller Ebene und darauf aufbauend so genannte *Implementation Specification (IS)* unterschieden. Die IS enthalten dabei konkrete Schnittstellendefinitionen und Kodierungen, die Entwickler in die Lage versetzen sollen, die Spezifikation in Anwendungen bzw. Softwareprodukte zu übernehmen. Eine Spezialisierung der IS kann auf Basis der IS in Form von so genannten Profilen vorgenommen werden. Diese Profile werden ergänzend zu den vorliegenden Spezifikationen erstellt, um beispielsweise einen bestimmten Anwendungsbereich abzudecken.

Eine weitere weltweit agierende Organisation ist die International Organization for Standardization (ISO). Das Technische Komitee (TC) 211 ist für die Reihe der Standards für den Bereich der geografischen Informationen, im Wesentlichen ISO 191xx, zuständig. Dabei stimmt das TC 211 der ISO seine Arbeit eng mit dem OGC ab. Beispiele für OGC-Spezifikationen, die als ISO-Standard übernommen wurden, sind etwa die ISO 19115 Metadata, ISO 19128 Web map server interface oder ISO 19136 Geography Markup Language (GML). Auf europäischer Ebene ist das Europäische Komitee für Normung (CEN) aktiv. Es ist insofern von Bedeutung, als dass sich verschiedenen EU-Mitgliedsstaaten zur Übernahme der CEN-Normen in nationale Standards verpflichtet haben, d. h. dass nationale Normen denen der CEN nicht widersprechen dürfen. Das für die Normen im Bereich der Geoinformation zuständige Technische Komitee (CEN/TC 287) übernimmt mittlerweile ISO-Standards der Reihe 191xx. Über die Normen bzw. Standards im Bereich der Geoinformation hinaus sind zudem die durch das World Wide Web Consortium (W3C) definierten Web-Standards von Bedeu-

[13] http://www.opengeospatial.org/ogc

tung. So orientieren sich die Spezifikationen des OGC an den durch das W3C definierten Protokolle und Kodierungssprachen und greifen auf diese zurück, wie z. B. der Hypertext Markup Language (HTML) und Extensible Markup Language (XML). Ein weiteres Beispiel ist Extensible 3D (X3D), ein durch das W3C definierter Standard zur Beschreibung von 3D-Modellen, der zum Einen als ISO-Standard (ISO/IEC 19775) übernommen wurde und zum Anderen als verpflichtendes Format für den Web 3D Service des OGC festgehalten wird (vgl. Abschnitt 2.4.5). Abbildung 15 skizziert das Zusammenspiel der verschiedenen Normungs- und Standardisierungsorganisationen.

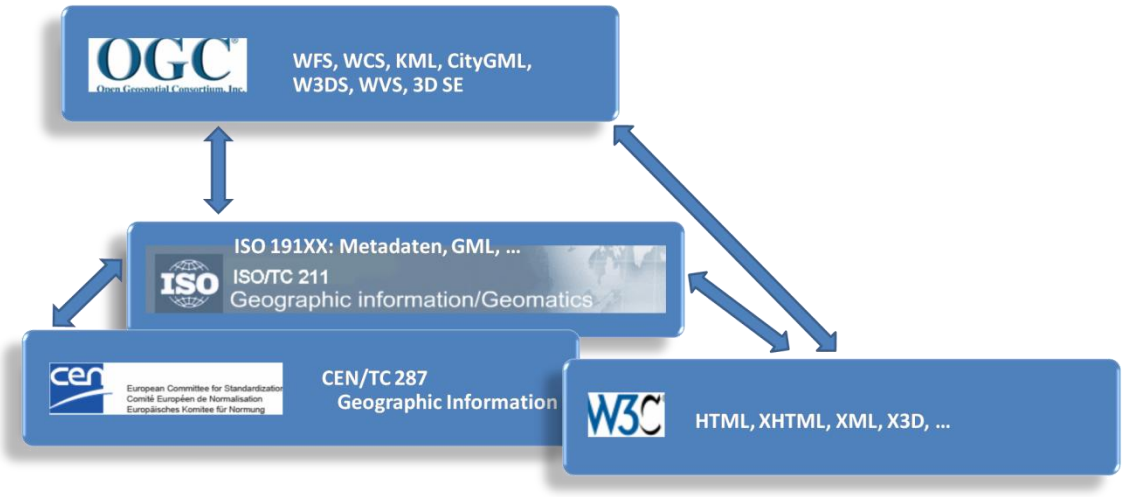

Abbildung 15: Zusammenspiel verschiedener Normungs- / Standardisierungsorganisationen

Der Vorteil standardkonform gehaltener 3D-Geodaten liegt vor allem in den Möglichkeiten der Nutzbarmachung für eine breite Anwenderschaft. Erst durch eine Mehrfachnutzung der zum Teil immer noch sehr teuer erfassten Daten können Mehrwerte generiert und die kostenintensive Haltung und Fortführung der Daten legitimiert werden. Zudem gestaltet sich im Bereich der öffentlichen Verwaltung die Datenbeschaffung mitunter schwierig, eine dienstebasierte Einbindung der Daten, auf Basis standardisierter Schnittstellen ermöglicht eine dezentrale Datenhaltung direkt beim Datenanbieter – dieser kann „seine“ Originaldaten bei sich behalten und anderen zur Verfügung stellen. Die dezentrale Datenhaltung beim Datenanbieter bringt außerdem Vorteile hinsichtlich der Aktualität mit sich. Datennutzer greifen quasi in Echtzeit auf die Originaldaten zu. Die standardkonforme Bereitstellung der Daten bietet sich auch im Sinne einer Prozessorientierung an. So können 3D-Geodaten in Geschäftsprozesse beim Fachanwender eingebunden werden. Eine nachhaltige Nutzung ist z. B. durch Erweiterbarkeit der Daten bzw. Datenmodelle gewährleistet.

Die Mindmap in Abbildung 16 gibt einen Überblick über die im Bereich der 3D-Geodaten relevanten Spezifikationen / Modelle. Die grau hinterlegten Felder werden dabei nur der Vollständigkeit halber aufgeführt – sie kommen ursprünglich aus der 2D-Welt. Fachdaten aus dem AAA-Modell können über die Normbasierte Austauschschnittstelle (NAS) ausgetauscht werden. Wie CityGML im 3D-Bereich, so setzt das AAA-Modell auf den Standards XML bzw. GML auf. Bei der NAS handelt es sich vereinfacht gesagt um einen Web Feature Service (WFS), der um Funktionen, wie sie speziell im AAA-Umfeld benötigt werden, angereichert wurde.

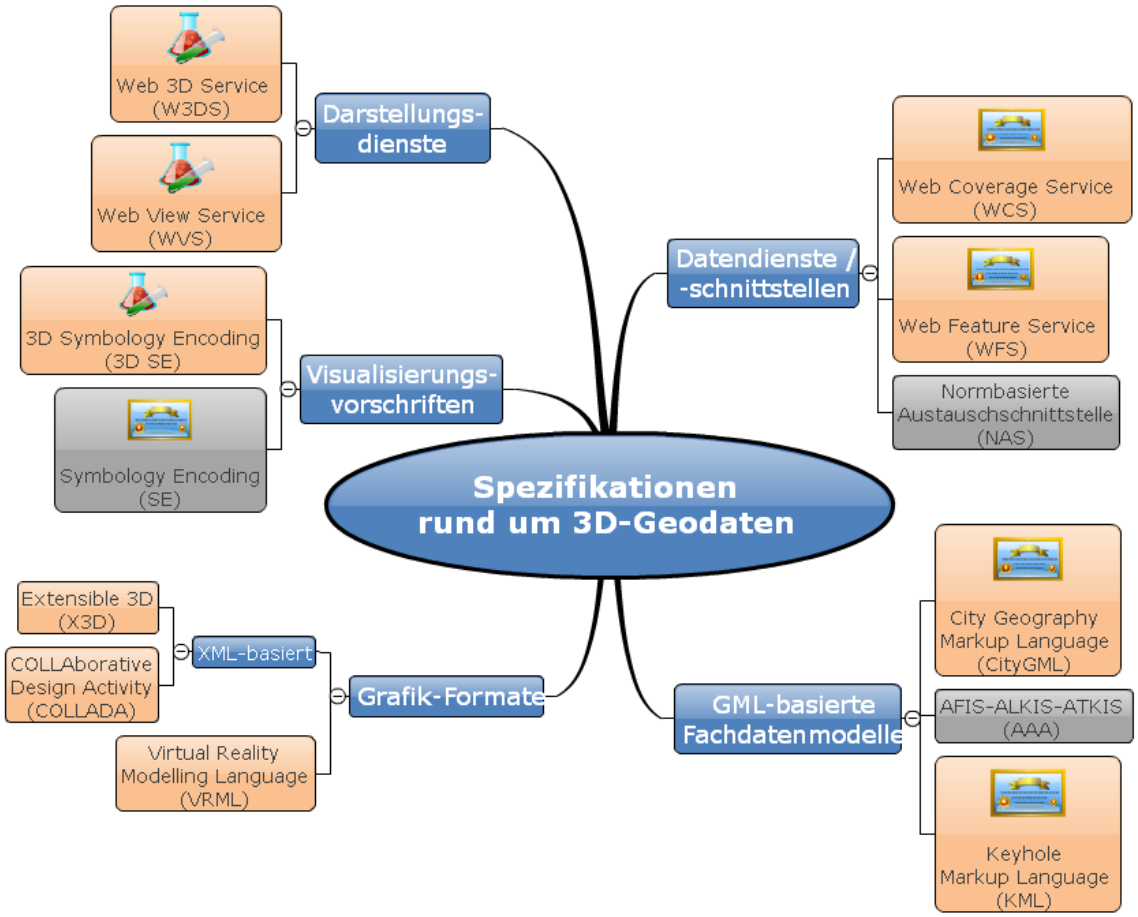

Abbildung 16: Spezifikationen rund um 3D-Geodaten

Die orange hinterlegten Felder sind für den 3D-Bereich interessant und werden nachfolgend eingehender beschrieben. 3D-Grafik-Formate werden in Verbindung mit den jeweiligen Darstellungsdiensten behandelt. Eine Unterscheidung zwischen veröffentlichten Spezifikationen des OGC und sich in der Entwicklung befindlichen *Discussion Papers* wird über die Symbole in den Feldern vorgenommen:

veröffentlichte Spezifikation

Discussion Paper

2.4.1 Keyhole Markup Language (KML)

Die Keyhole Markup Language (KML) ist seit dem 14.04.2008 als OpenGIS® KML Encoding Standard (OGC® KML) zum offenen Standard des OGC erklärt worden (vgl. OGC®). Dabei wurde die bereits bestehende KML Spezifikation von der OGC übernommen, mit der Absicht, zukünftige Versionen des Standards (momentan Version 2.2) im Sinne einer Harmonisierung mit anderen relevanten OGC-Standards zu entwickeln.

Ziel des Speicher- und Austauschformates KML sind in erster Linie digitale Globen, so genannte Earth Browser, in denen mittels KML auch dreidimensionale Geometrien visualisiert werden können. Darüber hinaus kommt KML auch in der zweidimensionalen Darstellung, in browserbasierten Kartenanwendungen, zum Einsatz (vgl. Wilson, T., 2008).

KML ist eine XML-basierte Sprache zur Beschreibung einer geografischen Visualisierung. Neben den geometrischen, ggf. dreidimensionalen, Primitiven können z. B. Angaben zur Position des Betrachters (*LookAt*) und beschreibende Daten in Form von so genannten Balloons (*BalloonStyle*) in KML beschrieben werden. Darüber hinaus ist es möglich auch Rasterdaten in Form so genannter *Overlays* in einem KML-Dokument zu übergeben. Die Erzeugung dynamischer Elemente ist über den *NetworkLink* möglich.

Die Beschreibung der Basisgeometrietypen wird in KML angelehnt an die Elemente *point, line string, linear ring* und *polygon* aus GML in Version 2.1.2. vorgenommen. Darüber hinaus entspricht KML jedoch nicht den GML-Standard und basiert nicht auf den ISO-Normen der 19100er Serie. Dies ist auch der Grund dafür, warum sich ein WFS nicht für die Übertragung von KML-Datensätzen eignet. Während der WFS auf geografische Features nach ISO 19101 ausgelegt ist, entspricht KML dieser ISO-Norm nicht (vgl. Kolbe, T. H., 2008).

KML ist an sich nicht als Sprache zur Beschreibung von 3D-Objekten angelegt, kann aber Objekte über eine Verknüpfung zu einer COLLADA-Datei (.dae) einbinden (Verknüpfung durch <Link>, vgl. Listing 1). COLLADA (COLLAborative Design Activity) ist ein XML-basiertes Format zum Austausch von 3D-Inhalten und bietet neben dem

Austausch von Geometrien auch Möglichkeiten zur Speicherung von z. B. Texturen, Materialeigenschaften und Beleuchtungssituationen. COLLADA wird von der Khronos Group als offener Standard zur Verfügung gestellt[14].

Listing 1: Einbindung eines 3D-Modells in eine KML-Datei

```
<Placemark>
    <name>Model</name>
    <Style id="default">
    </Style>
    <Model id="model_2">
        <altitudeMode>relativeToGround</altitudeMode>
        <Location>
            <longitude>18.110312582612</longitude>
            <latitude>42.641113056122</latitude>
            <altitude>0</altitude>
        </Location>
        <Orientation>
            <heading>-0</heading>
            <tilt>0</tilt>
            <roll>0</roll>
        </Orientation>
        <Scale>
            <x>1</x>
            <y>1</y>
            <z>1</z>
        </Scale>
        <Link>
            <href>model.dae</href>
        </Link>
        <ResourceMap>
            <Alias>
                <targetHref>texture0.jpg</targetHref>
                <sourceHref>../images/texture0.jpg</sourceHref>
            </Alias>
            <Alias>
                <targetHref>texture1.jpg</targetHref>
                <sourceHref>../images/texture1.jpg</sourceHref>
            </Alias>
```

Mit seiner Tag-basierten Syntax ist KML mit HTML vergleichbar. Analog zu HTML ist in KML die Information enthalten, welche Elemente wie in Earth Browsern wie Google Earth (3D) oder webbasierten Kartenanwendungen wie Google Maps (2D) dargestellt werden (vgl. Wilson, T., 2008). Abbildung 17 und Abbildung 18 enthalten Ansichten des Modells der Fachhochschule Frankfurt am Main, welches auf den Seiten des Labors für Geoinformation als KMZ herunter geladen werden kann[15]. KMZ ist die komprimierte Variante von KML. Das Modell wurde zum Einen in Google Earth geöffnet (vgl.

[14] http://www.khronos.org/collada/

[15] http://www.fh-frankfurt.de/de/.media/fb1/Studiengaenge/Geko_B_Eng/Projekte/p2005_06/SA_3D-Stadtmodell/fachhochschule_frankfurt.kmz

Abbildung 17) und zum Anderen über den Link, unter dem es zur Verfügung gestellt wird, in Google Maps eingebunden (vgl. Abbildung 18).

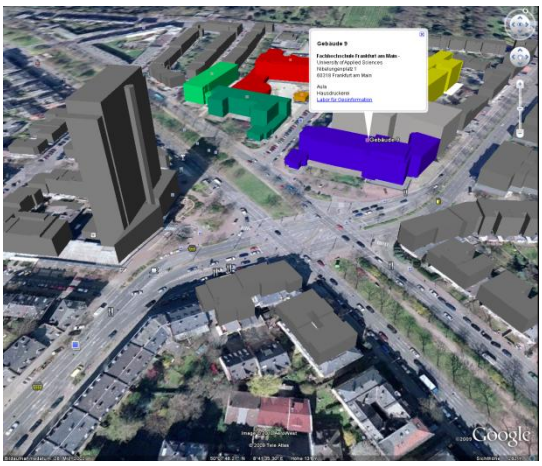

Abbildung 17: Ansicht KML-Modell der FH FFM in Google Earth

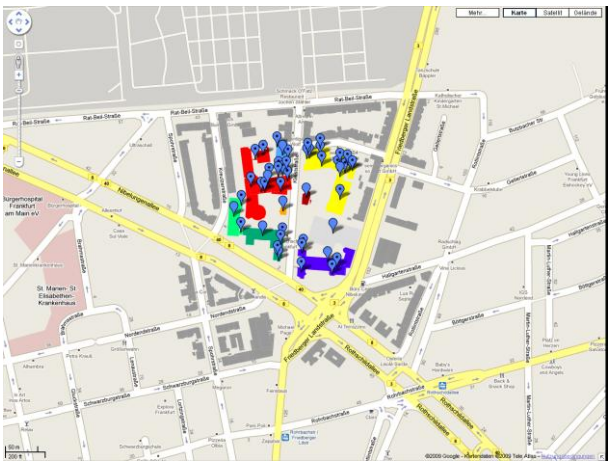

Abbildung 18: Ansicht des KML-Modell der FH FFM in Google Maps

Als Raumbezug ist WGS84 gegeben, für das Höhenmodell wird das EGM96 Geoid herangezogen. Listing 2 enthält einen Auszug aus der KML-Datei des FH-Modells.

Listing 2: Auszug aus KML-Datei

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2" xmlns:gx="http://www.google.com/kml/ext/2.2"
xmlns:kml="http://www.opengis.net/kml/2.2" xmlns:atom="http://www.w3.org/2005/Atom">
<Document>
    <name>Fachhochschule Frankfurt</name>
    <open>1</open>
    <LookAt>
        <longitude>8.69248529453345</longitude>
        <latitude>50.13051094188644</latitude>
        <altitude>0</altitude>
        <range>356.5707083167311</range>
        <tilt>50.17241379313135</tilt>
        <heading>-22.76329610391618</heading>
    </LookAt>
```

Das *LookAt*-Element spezifiziert die Beobachterposition in Bezug auf die Erdoberfläche, aus der das in der KML-Datei spezifizierte Element beim Aufrufen der Datei in Google Earth betrachtet werden soll. Zur Beschreibung der Beobachterposition werden die Zielkoordinaten (*longitude* / *latitude*), die Entfernung des Zielpunktes von der Erdoberfläche (*altitude*, in obigem Beispiel 0, der Punkt liegt direkt auf der Erdoberfläche), Entfernung des Beobachters vom Zielpunkt (*range*), der Zenitwinkel (*tilt*) und die Himmelsrichtung, in die der Beobachter blickt (*heading*), vgl. Abbildung 19.

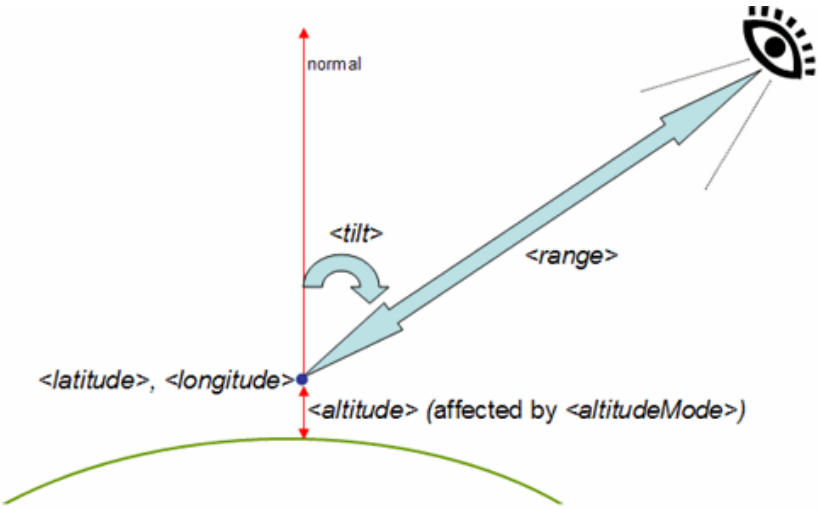

Abbildung 19: Beschreibung der Beobachterposition in KML

2.4.2 City Geography Markup Language (CityGML)

Der OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard liegt seit 20.08.2008 in der Version 1.0.0 vor. Bei CityGML handelt es sich um eine Anwendung der Geography Markup Language der Version 3.1.1 (GML3, vgl. Gröger et al., 2008). Im Gegensatz zu KML, welches in erster Linie als Visualisierungssprache für digitale Globen fungiert, wird unter Berücksichtigung des CityGML-Standards auch die semantische Information eines virtuellen 3D-Modells beibehalten. Die Motivation des Standards liegt in der Absicht, 3D-Stadtmodelle für ein möglichst breites Anwendungsspektrum nutzen zu können (vgl. Gröger et al., 2008). So werden Klassen und Relationen der relevantesten topografischen Objekte zur Repräsentation von digitalen 3D-Stadtmodellen unter der Berücksichtigung von geometrischen, topologischen, semantischen Eigenschaften und deren Erscheinungen / Darstellungen im CityGML-Standard beschrieben. Damit wird der Fokus im Standard CityGML weg von der reinen Visualisierung eines 3D-Modells hin zu einem Funktionsumfang, den man bisher nur aus dem zweidimensionalen Bereich kannte, gelenkt.

Neben gebauten Strukturen (z. B. Gebäuden) finden auch Höhenangaben (z. B. Geländemodelle), Vegetation, Wasserflächen, Straßenflächen und -möblierung oder ähnliches Berücksichtigung. Die Repräsentationsmöglichkeiten unter CityGML reichen von z. B. einfachen Modellen eines Detaillierungsgrades bis hin zu kombinierten Darstellungen verschiedenster Detaillierungs-Ausprägungen. Das heißt, dass mit CityGML die Möglichkeit der Integration von verschiedenen Repräsentationen ein und des gleichen Ob-

jektes, z. B. in verschiedenen Detaillierungsgraden, gegeben ist. Die fünf im CityGML-Standard definierten LODs werden in Abschnitt 2.2.1 behandelt.

Über die CityGML Application Domain Extension (ADE) ist es möglich, den Standard um anwendungsspezifische Erweiterungen zu ergänzen. Beispiele für solche Fachschalen sind z. B. die CityGML Subsurface Structure ADE zur Modellierung unterirdischer Strukturen, wie Tunnel oder auch U-Bahn-Stationen, oder die CityGML CAFM ADE, welche den CityGML-Standard um CAFM-Elemente (z. B. Nutzung nach DIN277 oder Kostengruppen nach DIN 276, vgl. CityGML-ADEs [16]) erweitert.

Genauigkeitsanforderungen werden in CityGML in Form der Standardabweichung von den absoluten 3D-Koordinaten definiert. Tabelle 3 enthält die Genauigkeitsanforderungen, wie sie im CityGML-Standard berücksichtigt sind. Die Genauigkeit von Höhe und Lage sind jeweils für Objekte ab einer bestimmten flächenmäßigen Ausdehnung zu gewährleisten. So muss ein Gebäude im LOD3 sowohl in Lage als auch in Höhe eine Genauigkeit von 0,5m oder besser aufweisen. Betroffen sind in diesem Fall alle Flächen, die eine Größe von mindestens 2x2m aufweisen(vgl. Gröger et al., 2008). Mit zunehmendem LOD steigt demnach nicht nur die Detailtiefe, sondern auch die Genauigkeitsanforderungen, die an ein 3D-Stadtmodell im Format CityGML gestellt werden.

Tabelle 3: Genauigkeitsanforderungen nach CityGML (Quelle: Gröger et al., 2008)

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Model scale description	regional, landscape	city, region	city districts, projects	architectural models (outside), landmark	architectural models (interior)
Class of accuracy	lowest	low	middle	high	very high
Absolute 3D point accuracy (position / height)	lower than LOD1	5/5m	2/2m	0.5/0.5m	0.2/0.2m
Generalisation	maximal generalisation (classification of land use)	object blocks as generalised features; > 6*6m/3m	objects as generalised features; > 4*4m/2m	object as real features; > 2*2m/1m	constructive elements and openings are represented
Building installations	-	-	-	representative exterior effects	real object form
Roof form/structure	no	flat	roof type and orientation	real object form	real object form
Roof overhanging parts	-	-	n.a.	n.a.	Yes
CityFurniture	-	important objects	prototypes	real object form	real object form
SolitaryVegetationObject	-	important objects	prototypes, higher 6m	prototypes, higher 2m	prototypes, real object form
PlantCover	-	>50*50m	>5*5m	< LOD2	<LOD2
… to be continued for the other feature themes					

Zusammenfassend verfolgt der OGC-Standard das Ziel, ein Basismodell für eine Vielzahl an Anwendungen bereitzustellen, dies beinhaltet auch die Möglichkeit eigener, fachspezifischer Erweiterungen. Als Informations- und Austauschmodell konzipiert, beinhaltet CityGML als einen Schwerpunkt auch die Repräsentation. So wird das Ci-

[16] http://www.citygmlwiki.org

tyGML-Format im OGC-Standard ausdrücklich als Quelle für 3D-Visualisierungen genannt. Auf Basis der enthaltenen semantischen Informationen können z. B. KML- oder X3D-Modelle erzeugt werden. Als zugehöriger OCG-konformer Darstellungsservice wird im CityGML-Standard explizit der Web 3D Service (W3DS) genannt. Dieser wird in Abschnitt 2.4.5 behandelt.

Seit Anfang Januar 2010 hat das OGC zur Meldung von Verbesserungs- und Erweiterungsvorschlägen zum bestehenden CityGML-Standard 1.0 sowie Anregungen zur Weiterentwicklung des Standards aufgerufen.

2.4.3 Web Feature Service (WFS)

Über die als Web Feature Service (WFS) spezifizierte Schnittstelle werden vektorielle Geometrien im GML-Format geliefert. Der WFS liegt seit Mai 2005 als Web Feature Service Implementation Specification des OGC in Version 1.1.0 vor und ermöglicht über die Unterstützung von GML3 auch die Bereitstellung von dreidimensionalen Geodaten.

Folgende Operationen dienen zur Ansprache des WFS und werden über HTTP als Netzwerkprotokoll in Form einer URL an den Service übermittelt.

GetCapabilities liefert als obligatorische Operation eines jeden OGC Web-Service die Eigenschaften des angefragten Dienstes. Der Client erhält als Antwort ein XML-Dokument, in dem z. B. unterstütze Features und darauf anwendbare Operationen übermittelt werden. Eine ebenfalls für den OGC-WFS verpflichtende Operation ist *DescribeFeatureType* – sie liefert Beschreibung der Sachdatenstruktur der vorhandenen Features. Die *GetFeature*-Anfrage liefert im Ergebnis die eigentlichen Daten an den Client. Auch diese Operation ist verpflichten für einen WFS nach der Spezifikation des OGC. Die Features werden als GML an den Client übergeben. Die Anfrage kann dabei clientseitig räumlich oder thematisch (z. B. auf Basis bestimmter Attribute) eingegrenzt werden. Die Eingrenzung erfolgt nach den Angaben der Filter Encoding Specification (vgl. Korduan, P. & Zehner, M.L., 2008). Die optional zu realisierende Operation *GetGMLObject*, liefert ein Objekt anhand einer ID an den Client aus. Der WFS bietet also die Möglichkeit des direkten Zugriffs auf die zugrunde liegenden Daten. Die Visualisierung ist Aufgabe des Clients. Die übermittelten Daten können schließlich vom Nutzer mittels der Clientsoftware bearbeitet werden. Die Möglichkeit zur Bearbeitung

der Originaldaten, also einen schreibenden Zugriff, bietet der transaktionale Datendienst WFS-T. Eine Realisierung der für den WFS optionalen Operationen *LockFeature* und *Transaction* ermöglichen das Hinzufügen, Bearbeiten und Löschen von Features im Originaldatenbestand. *LockFeature* verhindert dabei das Verändern von Features durch andere oder z. B. bei einem *Update*, sperrt also bestimmte Elemente, um bei Bearbeitungen die Datenkonsistenz zu wahren. Die Sperre ist auf eine bestimmte Zeitdauer ausgelegt. *Transaction* schreibt die vorgenommen Veränderungen aus dem Client über das Netz in die vorhandenen Daten.

2.4.4 Web Coverage Service (WCS)

Der Web Coverage Service (WCS) liegt seit März 2008 als OGC Implementation Standard in der Version 1.1.2 vor. Er unterstützt ebenso wie der WFS drei Operationen, von denen sich nur die dritte, *GetCoverage*, von denen des WFS unterscheidet. Der Unterschied zum WFS besteht darin, dass der WCS keine objektorientierten Features sondern so genannte Coverages zur Verfügung stellt. Unter Coverages sind flächendeckende Datenstrukturen zu verstehen, deren nachbarschaftlicher Zusammenhang sich in Funktionen darstellen lässt (vgl. Bartelme, N., 2005). Beispiele für Coverages sind einfache Rasterdatensätze, oder auch komplexere Datensätze, wie etwa ein Multispektralbild. Aber auch Vektordaten können unter den Begriff Coverage fallen. Das Punktraster, in dem die Primärdaten Digitaler Geländemodelle vorliegen, ist so ein Fall. Ein Beispiel für unregelmäßige Vektor-Strukturen ist das Triangulated Irregular Network (TIN), mit dem ebenfalls Geländemodelle dargestellt werden können. Die derzeit geltende Version des WCS-Standards sieht allerdings lediglich die Unterstützung von GRID-Strukturen vor. Die durch die Operation *GetCoverage* angeforderten GRIDs beinhalten dabei nicht nur die (unter Umständen mehrdimensionalen) Rasterdaten, sondern auch die Sachinformationen, die zu jeder einzelnen Zelle des GRIDs hinterlegt sein können. Der WCS eignet sich demnach schon jetzt zum rasterbasierten Austausch von Höhenmodellen und Luft- bzw. Satellitenbildern. Ein Ausbau des WCS für weitere Typen von Coverages über GRID-Coverages hinaus ist seitens des OGC geplant (vgl. Whiteside, A., Evans, J. D., 2008)

2.4.5 Web 3D Service (W3DS)

Beim Web 3D Service (W3DS) handelt es sich um einen Web-Dienst zur 3D-Visualisierung. Die derzeitige Version des Kandidaten für einen neuen OGC-Standard,

Version 0.4.0, liegt seit Januar 2010 als *Discussion Paper* des OGC vor. Die *Discussion Paper* des OGC dokumentieren technologische Fragen, mit denen sich die *Working Groups* des OGC beschäftigen. Sie sind somit nicht als Standards oder Absichtserklärungen des OGC zu verstehen, sondern dienen als Diskussionsgrundlage zu bestimmten technologischen Entwicklungen, in diesem Fall der interoperablen Visualisierung von dreidimensionalen Geodaten. Nachfolgend werden die wesentlichen Punkte aus dem *Discussion Paper* zum W3DS zusammen gefasst (siehe auch Schilling, A., Kolbe, T. H., 2010).

Beim W3DS handelt es sich um einen Darstellungsservice für dreidimensionale Geodaten. Der wesentliche Unterschied zum WMS bzw. WVS (Web View Service, vgl. Abschnitt 2.4.6) liegt in der Form der zur Verfügung gestellten Daten. Der W3DS liefert keine fertig gerenderten Bilddaten, sonder einen so genannten Szenegrafen, welcher auf dem Client gerendert wird und durch den sich der Anwender dreidimensional, interaktiv bewegen kann. Ein weiterer Vorteil des W3DS liegt in der Tatsache, dass innerhalb eines Szenegrafen mehrere Informationsebenen (Layer) verschiedener Quellen visualisiert werden können. Die derzeitige Version 0.4.0 des Discussion Paper hat im Vergleich zu der Vorgänger-Version (0.3.0) aus dem Jahr 2004 umfassende Erweiterungen erfahren, welche die Intention des W3DS verdeutlichen. So finden Web-Austausch-Formate, wie KML, X3D oder COLLADA, die unter 3D-Anwendern aus verschiedensten Anwendungsgebieten verbreitet sind, Berücksichtigung. Als obligatorisches Ausgabeformat des W3DS ist nunmehr X3D definiert. Der Unterschied dieser Austauschformate gegenüber dem vom WFS gelieferten GML liegt vor allem in der Ausrichtung auf die Visualisierung. Das Ziel des W3DS ist eine performante und realistische (Echtzeit-)Visualisierung über das Internet, unter Berücksichtigung kartografischer Ansprüche und einem größtmöglichen Maß an Interaktion, auch bei geringen Bandbreiten. Der W3DS stellt also per se keine Attribute oder semantische Informationen zu den 3D-Geodaten bereit, sondern konzentriert sich auf die visuelle Ausgestaltung, z. B. in Form von Texturen, Materialeingenschaften, Beleuchtungssituationen oder ganzen Animationen.

Unabhängig von dem gewählten Datenformat findet das Rendering der 3D-Szenen auf dem Client statt. Der W3DS wird demnach als *Medium Client / Medium Server*-Anwendung bezeichnet, da zur Anzeige der Daten die Installation weiterer Software auf dem Client, also beim Nutzer, notwendig ist (vgl. Abbildung 20). Der datenbereitstellende Server generiert die die so genannten Display-Elemente, welche zum Client

gestreamt und dort gerendert werden können. Von einem *Thin Client* spricht man z. B. beim WMS bzw. WVS. Beim WFS hingegen findet die Kommunikation mit dem datenbereitstellenden Server direkt auf Ebene der Features statt, d. h., dass ein *Thick Client*, alle Aufgaben / Einstellungen der Visualisierung selbst übernimmt. Für den Datenzugriff und damit die Bereitstellung der originären 3D-Geodaten inklusive ihrer Attribute und semantischen Informationen wird auch im Discussion Paper zum W3DS der WFS empfohlen.

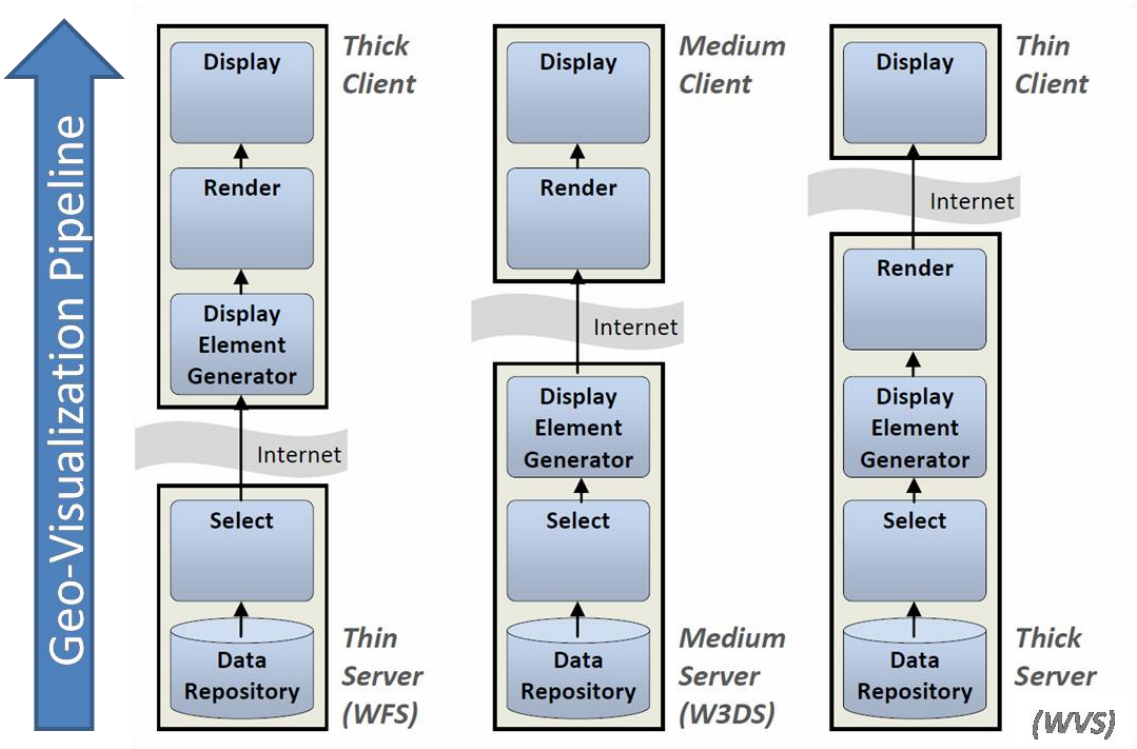

Abbildung 20: Erforderliche Leistungsfähigkeit Client und Server

[Quelle: Schilling, A., Kolbe, T. H., 2010, angepasst]

Die für den W3DS benötigte Software kann im einfachsten Fall in Form von Browser Plugins oder digitalen Globen (Earth Browser) installiert werden. Für die genannten Ausgabeformate X3D, KML bzw. COLLADA existieren verschiedene freie Software-Komponenten mit Echtzeit-Rendering Funktionalitäten und differenzierten Navigationsmöglichkeiten (vgl. Abschnitt 3.1).

Fünf Operationen werden für den W3DS definiert:

- *GetCapabilities*
- *GetScene*
- *GetFeatureInfo*
- *GetLayerInfo*
- *GetTile*

Die *GetCapabilities* Anfrage liefert als obligatorische Operation eines jeden OGC Web-Service auch für den W3DS die Eigenschaften des angefragten Dienstes. Die zweite, für den W3DS verpflichtend vorzuhaltende, Operation ist die *GetScene* Anfrage. Sie liefert schließlich die fertige 3D-Szene. Die 3D-Szene kann dabei Daten aus einem oder mehreren Layern umfassen, Kartenelemente, wie z. B. Titel, Maßstabsleiste, Nordpfeil, Legende o. ä. und vordefinierte Betrachterpunkte (*viewpoints*). Des Weiteren müssen 3D-Szenen für den W3DS einen adäquaten Raumbezug aufweisen. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang z. B. ob die eingesetzte Grafik-Hardware mit globalen Raumbezugssystemen, wie WGS84 umgehen kann und dass die Koordinaten an sich in Metern bzw. Inch angegeben werden und nicht durch Winkelangaben definiert sind. Eine *GetScene*-Anfrage an den W3DS umfasst wenigstens die folgenden Parameter (vgl. Abbildung 21): den angesprochenen Web-Service (1), die auszuführende Operation (2), die Version des Standards, welcher der Operation zugrunde liegt (3), das Raumbezugssystem der angeforderten Szene (4), das angeforderte Datenformat (5), die räumliche Ausdehnung der Szene, die so genannte BoundingBox, im Format min x, min y, max x , max y (6) sowie die angeforderten Daten-Layer (7).

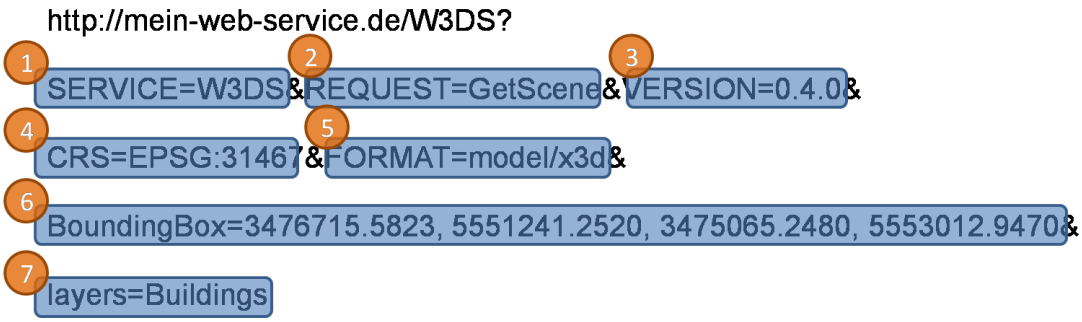

Abbildung 21: HTTP GET-Request W3DS

Optional ist über die obligatorischen Parameter hinaus z. B. die Festlegung vordefinierter Betrachterpunkte, so genannter *Viewpoints*, möglich. Ein *Viewpoint* setzt sich aus den in Abbildung 22 dargestellten Ansichts-Parametern zusammen. Der *Point of Interest* (POI) ist der Zielpunkt, der von der Beobachterposition, dem *Point of Camera* (POC) anvisiert wird. Genauso wie POI und POC wird auch der so genannte UP-Vektor über die Angabe von X-, Y- und Z-Koordinate definiert. Außerdem wird das *Field of View* (FOV) als Winkelangabe definiert. Über die Angabe mehrerer Viewpoints, in Form einer Liste, können im Viewer des Clients die einzelnen Betrachterpunkte „abgeflogen“ werden, es ist somit die Erstellung von Animationen durch die angefragte Szene möglich.

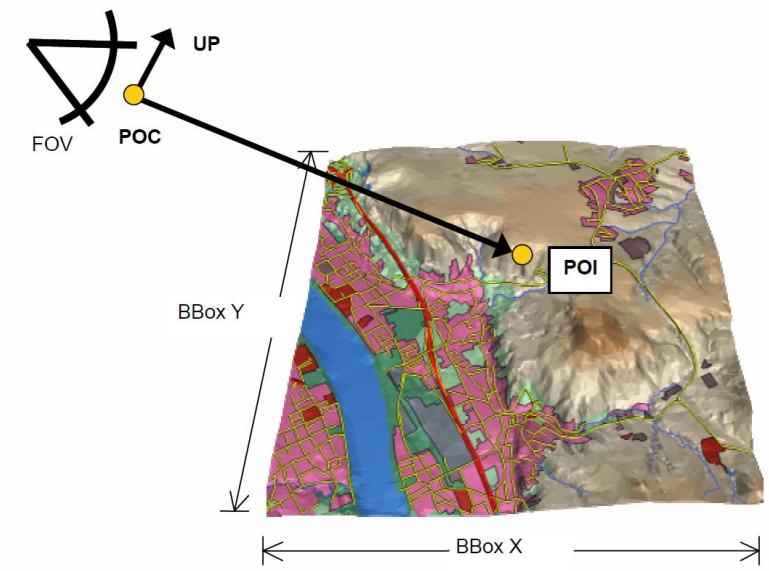

Abbildung 22: Ansichts-Parameter der GetScene Anfrage

[Quelle: Schilling, A., Kolbe, T. H., 2010]

Die optionale Operation *GetFeatureInfo* ermöglicht die Sachdatenabfrage auf Feature-Ebene, *GetLayerInfo* dient ebenso optional der Sachdatenabfrage zu einem bestimmten Layer der Szene. Über *GetTile* werden nur bestimmte Bereich eines Layers, so genannte Tiles (Kacheln), angefordert, sofern die Ausgangsdaten in einem entsprechenden Format vorliegen.

2.4.6 Web View Service (WVS)

Der Web View Service (WVS) liegt seit Februar 2010 als *Discussion Paper* des OGC (Version 0.3.0) vor und stellt die Überarbeitung und Weiterentwicklung der beiden „Vorgänger“ Web Perspective View Service (WPVS) bzw. Web Terrain Service (WTS) dar. Beim WVS handelt es sich ebenso wie beim W3DS um einen so genannten 3D Portrayal Service – einen Darstellungsdienst für dreidimensionale Geodaten. Im Unterschied zum W3DS liefert der WVS serverseitig gerenderte 3D-Ansichten. Der WVS kann somit vereinfacht gesagt als das 3D-Pendant zum WMS bezeichnet werden: an den Client werden Bilder geliefert, die eine 3D-Ansicht auf eine Szene darstellen. Wesentliche Unterschiede zu dem Konzept eines WMS bestehen allerdings in der Interaktivität des WVS, sowie der optionalen Mehrschichtigkeit der durch den WVS gelieferten Bilder und der auf diesem Prinzip basierenden Abfrage-Operationen. Nachfolgend werden die wesentlichen Punkte aus dem *Discussion Paper* zum WVS zusammen gefasst (siehe auch Hagedorn, B., 2010).

Das zentrale Produkt des WVS sind serverseitig gerenderte 3D-Ansichten einer Szene, die in Form von Standard-Bildformaten (z. B. JPEG / PNG) an den Client ausgeliefert werden. Der WVS basiert demnach auf dem Thick Server / Thin Client – Konzept (vgl. Abbildung 20). Der Server realisiert den Zugriff auf die nötigen 3D-Geodaten und rendert schließlich eine fertige 3D-Ansicht. Über die Integration zusätzlicher Bild-Layer können weitere Informationen in die 3D-Ansichten eingebunden werden und Interaktionsmöglichkeiten, wie z. B. Navigation durch die 3D-Ansichten geschaffen werden. Folgende Bild-Layertypen sind derzeit für den WVS spezifiziert (vgl. Abbildung 23):

- Der so genannte *color layer* enthält die eigentliche, durch das menschliche Auge interpretierbare, Bildinformation, also einen Farbwert für jedes Pixel.
- Ein *depth layer* beinhaltet die Tiefeninformation und beschreibt den Abstand eines jeden Pixels zur virtuellen Kameraposition.
- Im *object id layer* ist für jedes Pixel ein eindeutiger Identifikator abgelegt. Diese Objekt-IDs sind wiederum den Features aus dem ursprünglichen Daten-Layer zugeordnet. Das heißt, dass der Nutzer über den Zugriff auf die Objekt-IDs ein Feature (bzw. dessen grafische Repräsentation) selektieren kann.
- Der *normal layer* beschreibt für jedes Pixel die Richtung der Oberflächennormalen. Diese kann z. B. zur Erzeugung bestimmter Beleuchtungssituationen innerhalb der 3D-Ansicht herangezogen werden.

- Ein *mask layer* gibt Auskunft darüber, an welchen Stellen, bzw. für welche Pixel Bildinformationen zu 3D-Objekten vorliegen. Diese Information kann z. B. zur Generierung eines Hintergrundes für die 3D-Ansicht (z. B. Himmel) genutzt werden.

Abbildung 23: WVS-Bild-Layertypen

(color layer, depth layer, object id layer, normal layer, mask layer, v. l. n. r.)
[Quelle: Hagedorn, B., 2010]

Darüber hinaus ist die Einbindung von weiteren Bild-Layern vorstellbar. Auf diesem Wege könnten z. B. Fachdaten zu Objekten der 3D-Ansicht integriert werden, wie z. B. Thermografie-Aufnahmen einzelner Gebäude.

Derzeit sind im WVS *Discussion Paper* neun Operationen für den WVS definiert:

- *GetCapabilities*
- *GetView*
- *GetFeatureInfo*
- *GetIdentifierMapping*
- *GetPosition*
- *GetMeasurement*
- *GetCamera*
- *GetLayerInfo*
- *GetLegendGraphic*

Die *GetCapabilities* Anfrage liefert als obligatorische Operation eines jeden OGC Web-Service auch für den WVS die Eigenschaften des angefragten Dienstes. Die zweite, für den WVS verpflichtend vorzuhaltende, Operation ist die *GetView* Anfrage, über die der Client eine gerenderte 3D-Ansicht einer 3D-Szene anfordert. Die optional zu implementierenden Operationen verhelfen dem WVS clientseitig zu mehr Interaktivität und werden wie folgt vorgeschlagen: *GetFeatureInfo* ermöglicht die Abfrage von attributiven

Sachdaten der in der 3D-Ansicht selektierten Objekte. *GetIdentifierMapping* kann genutzt werden, um die Objekt-Identifikatoren aus dem *object layer* abzufragen. Mit *GetPosition* kann die 2D- bzw. 3D-Position an einer bestimmten Stelle in der Ansicht abgefragt werden. Über *GetMeasurement* wird dem Client das Messen von Entfernungen bzw. Flächen in der 3D-Ansicht ermöglicht und die Messergebnisse geliefert. *GetCamera* fordert Navigationssupport vom Server in der 3D-Ansicht an. Kombiniert mit einer weiteren *GetView*-Anfrage kann so die Navigation durch die 3D-Ansicht, in Form von weiteren 3D-Ansichten, ermöglicht werden. Mit *GetLayerInfo* können Attributnamen und Werte der Attributtabelle eines in der 3D-Ansicht dargestellten Layers abgefragt werden. Das Abfragen und Hinzufügen einer Kartenlegende in die 3D-Ansicht ermöglicht die Operation *GetLegendGraphic*.

Der bildbasierte Ansatz des WVS ermöglicht die Darstellung von unter Umständen komplexen 3D-Geodaten nahezu unabhängig von der hard- und software-technischen Ausstattung des Clients. Das macht den WVS besonders interessant für die Anwendung auf mobilen Clients, wie z. B. Mobiltelefonen oder in Bereichen mit nur geringer Bandbreite. Je nach Client sind darüber hinaus verschiedene Stufen der Interaktion, realisierbar, von einfacher 3D-Visualisierung (mobile Clients) bis hin zu einer Echt-Zeit-Navigation in 3D.So ist der WVS einerseits als Schnittstelle zur clientseitigen Viewer-Komponente und andererseits als 3D-Knotenpunkt Schnittstelle zu einer Vielzahl weiterer Dienste / Schnittstellen in einer GDI. Abbildung 24 skizziert die mögliche Integration des WVS in eine GDI. Über die Nutzung der auf dem Server des WVS vorgehaltenen Geodaten hinaus kann der WVS auch verteilte Informationen von W3DS, WMS oder WFS anfragen und verarbeiten. Die Ergebnisse aus einer WVS-*GetFeatureInfo*-Anfrage könnten auch an einen WFS weiter gegeben werden.

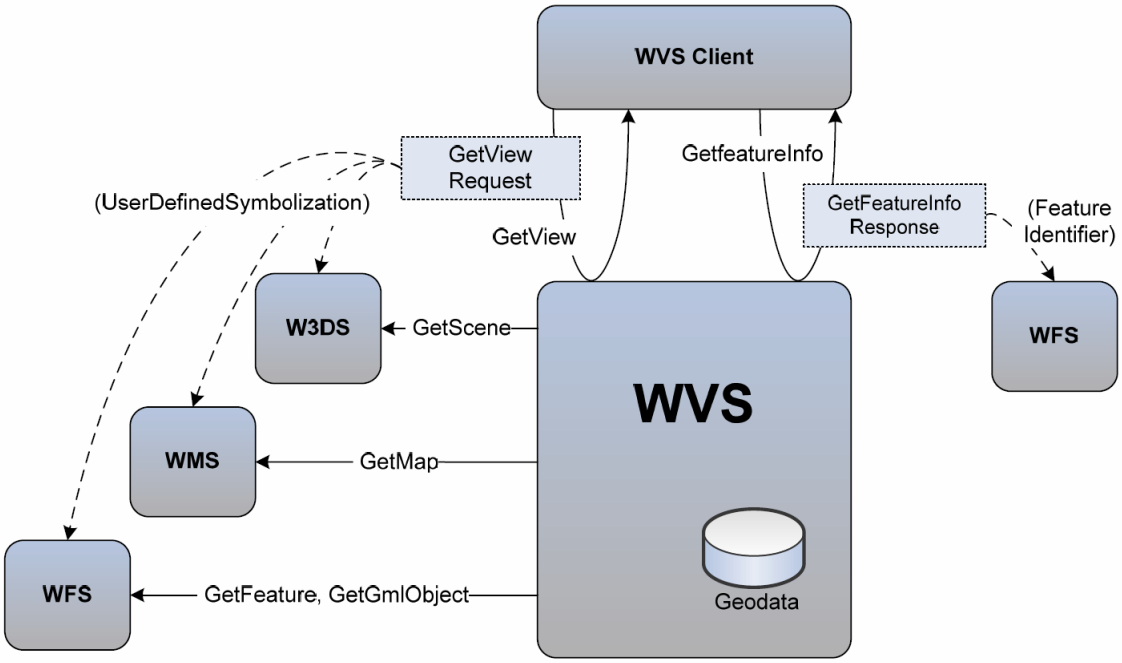

Abbildung 24: Mögiche Integration des WVS in GDI

[Quelle: Hagedorn, B., 2010]

2.4.7 3D-Symbology Encoding (3D SE)

In Ergänzung zu den zwei Darstellungsdiensten W3DS und WVS wird derzeit an Visualisierungsvorschriften, speziell zu Visualisierung von 3D-Geodaten, gearbeitet. Seit Oktober 2009 ist in diesem Zusammenhang das *3D-Symbology Encoding Discussion Draft* als Dicussion Paper des OCG verfügbar. Nachfolgend werden die wesentlichen Punkte aus dem Discussion Paper zum 3D SE zusammen gefasst (siehe auch Neubauer, S., Zipf, A., 2009).

Das OGC stellt mit der Spezifikation zum *Symbology Encoding (SE)* die Basis für Visualisierungsvorschriften für Kartendarstellungen bereit. Bisher ist dies aus dem 2D-Bereich, z. B. in Form des *Styled Layer Descriptor (SLD)* für den WMS, als Profil des *Symbology Encodings* bekannt. Beim *3D-Symbology Encoding* handelt es sich demnach nicht um einen Web-Service, sondern um ein ergänzendes Profil, auf Basis des OGC *Symbology Encodings*, speziell abgestimmt auf die Darstellung von dreidimensionalen Karteninhalten. Das Profil 3D SE umfasst z. B. die Darstellung von Punkt-, Linien- und Flächenobjekten, sowie Schrift, in einer 3D-Umgebung. Das Konzept des 3D SE setzt allerdings ein strikte Trennung der 3D-Rohdaten von deren Visualisierung voraus.

Im Detail soll das 3D SE auf der einen Seite die Definition von so genannten Server Styles unterstützen. Diese Server Styles werden direkt vom Darstellungsdienst (wie W3DS oder WVS) als Darstellungsvorschriften vorgehalten. Auf der anderen Seite soll dem Nutzer ermöglicht werden, eigene Darstellungs-Stile, so genannte User-Styles, festlegen zu können. Das heißt, dass der Nutzer, z. B. beim Anfragen mehrerer Dienste, eine gemeinsame, einheitliche Darstellung festlegen kann. Ebenso hätte der Nutzer durch die Definition eigener Styles die Möglichkeit, thematische 3D-Karten / Darstellungen zu erzeugen, indem die Daten z. B. gemäß ihrer hinterlegten Sachdaten klassifiziert und visualisiert werden.

Das 3D SE definiert die Umsetzung von Darstellungsvorschriften speziell für den dreidimensionalen Bereich, also für z. B. Fälle wie der Platzierung von 3D-Objekten (vgl. Abbildung 25). 3D-Objekten, wie z. B. Bäumen, können so bestimmte Platzierungseigenschaften im dreidimensionalen Raum zugewiesen werden. Genauso können Oberflächeneigenschaften, z. B. für die Visualisierung bestimmter Beleuchtungssituationen, definiert werden.

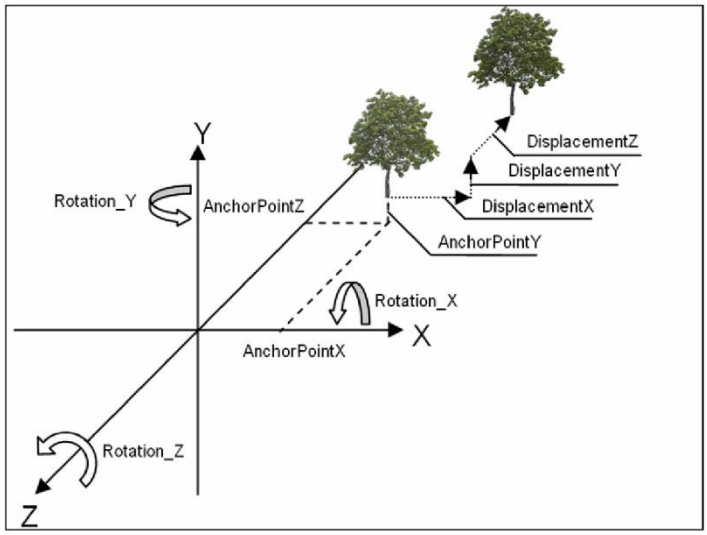

Abbildung 25: Platzierungseigenschaften von 3D-Objekten

[Quelle: Neubauer, S., Zipf, A., 2009]

2.5 Rahmenbedingungen für die Nutzung von 3D-Geodaten in der öffentlichen Verwaltung

In den folgenden Abschnitten wird die Nutzung und Bereitstellung von 3D-Geodaten im Zusammenhang mit verwaltungsrechtlichen Standards unterschiedlicher Ebenen betrachtet. Neben dem AAA-Modell, als Rahmen für die digitale Bereitstellung von Geobasis- und auch Geofachdaten, wird ein Blick auf die Rolle von Diensten in Zusammenhang mit den Zielen und Architekturen übergeordneter Infrastrukturen wie GDI-DE, INSPIRE, aber auch Infrastrukturen, die sich durch E-Government-Initiativen ergeben, geworfen. E-Government-Standards sind für die öffentliche Verwaltung im Bereich der Geoinformationen insofern relevant, als dass sowohl organisatorische als auch technische Rahmenbedingungen bei Nutzung von Geoinformationen zu berücksichtigen sind. Das Kapitel schließt mit einer Betrachtung der dienstebasierten Architektur (Service Oriented Architecture, SOA) im Zusammenhang mit Web-Services.

2.5.1 AFIS, ALKIS und ATKIS

Das AFIS-ALKIS-ATKIS-Projekt schafft den Rahmen für die digitale Bereitstellung der Geobasisdaten (vgl. Abschnitt 2). Viele Kommunen, so auch die Stadt Frankfurt, haben sich für eine ALKIS-konforme Haltung ihrer Daten entschieden und nutzen das normbasierte Verfahren des 3A-Modells als Modellierungsbasis für ihre Fachdaten.

Das ALKIS-Datenmodell basiert auf z. B. auf der ISO 19109 *Geographic Information — Rules for application schema.* In dieser Norm werden z. B. Eigenschaften von Features definiert. Die Eigenschaften von Geometrien und Topologien bauen auf der ISO 19107 *Geographic Information – Spatial schema* auf (vgl. Andrae, C., 2008).

Die Beschreibung des dem AAA-Modell zugrunde liegenden objektorientierten Datenmodells ist im Dokument *Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens* (GeoInfoDok , aktuell in Version 6.0.1) öffentlich verfügbar. Sie umfasst ein gemeinsames Anwendungsschema für AFIS, ATKIS und ALKIS, welches einen bundesweit einheitlichen Grunddatenbestand definiert. Im Zuge der Weiterentwicklung des AAA-Modells finden seitens der AdV auch 3D-Komponenten Berücksichtigung. So ist die dreidimensionale Beschreibung der Geländeform, DGM, als eigenständiges Produkt des ATKIS definiert und ALKIS sieht die Möglichkeit vor, auch 3D-Informationen ablegen zu können. Für die Integration von 3D-Informationen wird in der GeoInfoDok explizit auf das Format CityGML verwiesen. Genau wie das ALKIS-Basismodell gründet sich auch CityGML auf dem GML-Standard. In den Ver-

messungsverwaltungen auf Landes- und kommunaler Ebene wird derzeit häufig der Ansatz verfolgt, die 3D-Datenhaltung auf Basis von CityGML neben der ALKIS-Datenhaltung zu führen. Langfristig wird jedoch, auch seitens der AdV eine echte 3D-Modellierung innerhalb des AAA-Modells angestrebt, um eine integrierte Datenhaltung von 2D- und 3D-Geobasisdaten zu ermöglichen.

2.5.2 E-Government-Initiativen

2.5.2.1 Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE)

Ein fundamentaler Baustein des E-Government in Deutschland ist das Vorhaben GDI-DE als gemeinsames Vorhaben von Bund, Ländern und Kommunen. Im Jahr 2003 wurde das Lenkungsgremium GDI-DE (LG GDI-DE) im Auftrage der Staatssekretärrunde für E-Government gegründet. Neben der Steuerung und Koordinierung von Aufbau und Entwicklung der GDI-DE hat das LG GDI-DE z. B. die Funktion der nationalen Kontaktstelle (Member State Contact Point) im INSPIRE-Prozess (vgl. GDI-DE, 2010).

Ein zentrales Dokument, das im Auftrag des LG GDI-DE erarbeitet und öffentlich zur Verfügung gestellt wird, ist das Architekturkonzept der Geodateninfrastruktur Deutschland. Aktuell liegt dieses Dokument als Fortschreibungsentwurf (Version 2.0 (beta)) vor. Im Architekturkonzept der GDI-DE wird Bereitstellung von Geodaten in der GDI-DE, also der nationalen GDI Deutschlands, und die dafür notwendig zu beachtenden Technologien, Standards und Normen beschrieben, so dass das Architekturkonzept z. B. als Bestandteil von Ausschreibungen zum Aufbau der GDI-DE vorzusehen ist.

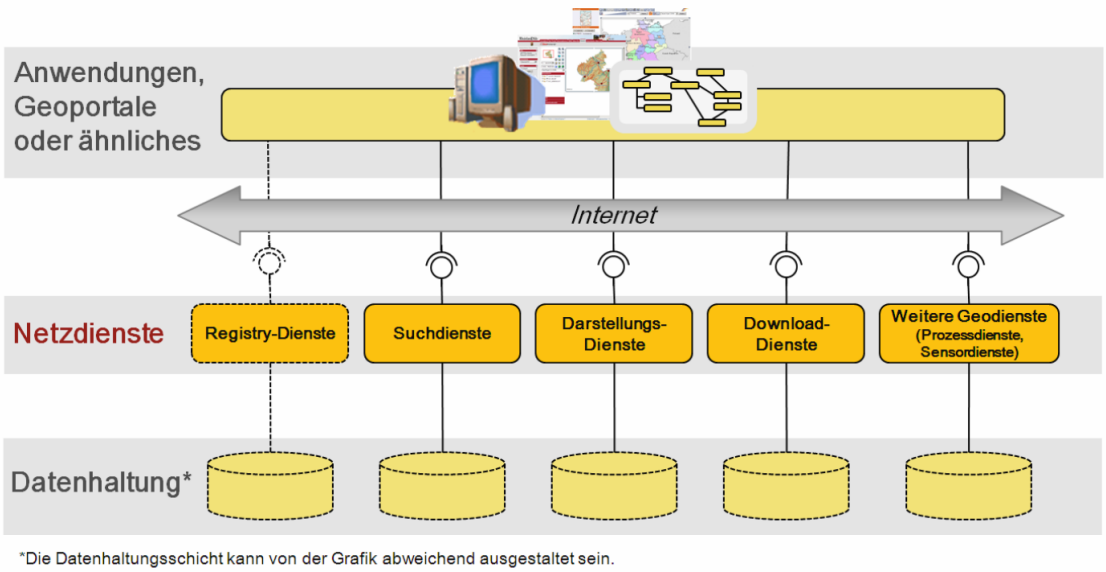

Abbildung 26: Architektur der GDI-DE

[Quelle: GDI-DE, 2010]

Die Architektur der GDI-DE ist als so genannte serviceorientierte bzw. dienstebasierte Architektur ausgelegt (vgl. Abbildung 26). Der Nutzer kann, z. B. über Geoportale webbasiert auf die verschiedenen Netzdienste (Services) zugreifen bzw. diese ansprechen. Die Dienste greifen ihrerseits auf die - möglicherweise verteilten - Datenhaltungen zurück.

In der überarbeiteten Version des Architekturkonzeptes zur GDI-DE findet neben dem Web Terrain Service, als Vorgänger des WPVS, auch der W3DS Berücksichtigung. Vor dem Hintergrund des Stands der Technik werden Standards, Formate und Konzepte von der GDI-DE verschiedenen Verbindlichkeiten zugeordnet. *GDI-DE-grundlegend* bezeichnet die Lösungen, die dem Stand der Technik entsprechen und die innerhalb der GDI-DE obligatorisch umzusetzen sind, sofern Anwendungsfälle vorliegen. Sowohl der WTS als auch der W3DS sind als *GDI-DE-optional* im Architekturkonzept der GDI-DE vorgesehen. *GDI-DE-optional* heißt, dass es zwar praxiserprobte Anwendungen dieser Lösungen gibt, diese *„aber noch nicht umfänglich auf gesicherten Erkenntnissen von Wissenschaft, Technik und Erfahrung basieren“* (GDI-DE, 2010, S. 17f.). Lösungsansätze, die für die Erfüllung zukünftiger Anforderungen der GDI-DE interessant sein könnten, werden als *GDI-DE-unter-Beobachtung* betrachtet.

2.5.2.2 Deutschland-Online

Deutschland-Online (DOL) ist die gemeinsame E-Government-Strategie von Bund, Ländern und Kommunen. Ziel von DOL ist die Schaffung einer integrierten E-Government-Landschaft in Deutschland, die die Bereitstellung von Online-Diensten ermöglicht. Ein gezielter Einsatz von Informations- und Internettechnologien in den Verwaltungsebenen soll die Abstimmung von E-Government-Initiativen von Bund, Ländern und Kommunen Deutschlands erreichen. Als Voraussetzung hierfür werden der Aufbau von Infrastrukturen und der Einsatz einheitlicher Standards für den Datenaustausch in öffentlicher Verwaltung definiert. Zwar zählt das *Vorhaben Geodaten* nicht zu den priorisierten Vorhaben, jedoch werden Geoinformationen als wesentlicher Bestandteil der zu schaffenden Infrastrukturen gesehen (vgl. DOL, 2009).

„Der Deutsche Bundestag hat in seiner Entschließung vom 15. Februar 2001 die „Gewinnung, Verarbeitung, Verbreitung und Nutzung von Geoinformationen“ als „ein zentrales Element der modernen Informationsgesellschaft“ bezeichnet. Im Sinne dieser Entschließung haben der Bundeskanzler und die Regierungschefs der Länder bei ihrer Konferenz am 26. Juni 2003 mit dem Vorhaben Deutschland-Online eine gemeinsame Strategie für ein integriertes E-Government beschlossen. Zu der Thematik Geodaten

wurde ein länderübergreifendes Vorhaben unter der Federführung von Nordrhein-Westfalen eingerichtet, an dem neben 13 Bundesländern und dem Bund auch viele kommunale Institutionen (Städte, Kreise, Rechenzentren) mitwirken.“[17]

Teil-Projekte, die derzeit im Rahmen des *Vorhabens Geodaten* umgesetzt werden, sind z. B. das Vernetzte Bodenrichtwertinformationssystem (VBORIS) und XPlanung, ein Austauschstandard in der Bauleitplanung. VBORIS verfolgt das Ziel, amtliche Bodenrichtwerte bundesweit einheitlich zur Verfügung zu stellen. Über ein zentrales Portal wird schon heute der Zugang zu den länderspezifischen Portalen, sofern bereits vorhanden, realisiert.[18] Ansätze zu der geplanten Dienste-Architektur, die mit VBORIS vorgesehen ist, gibt Abbildung 27. Seitens der Federführung des *Vorhabens Geodaten* wird explizit auf die Empfehlungen der GDI-DE zum Aufbau einer GDI verwiesen (vgl. DOLa).

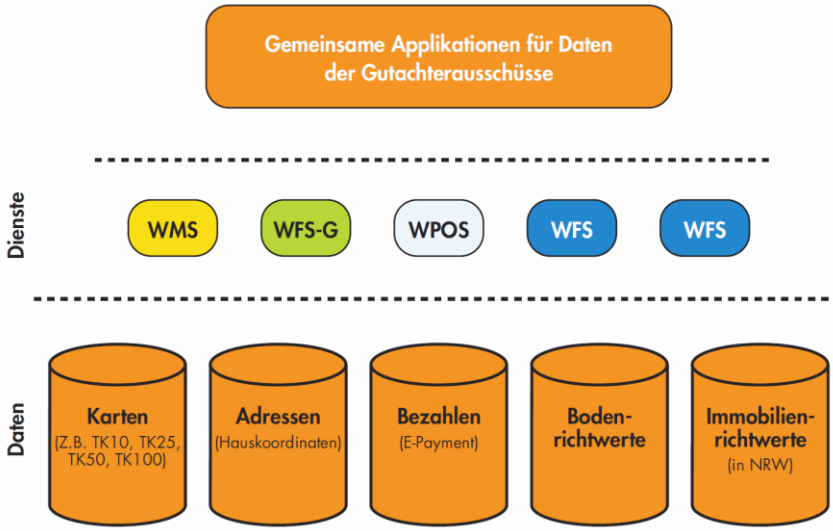

Abbildung 27: Dienste-Architektur von VBORIS

[Quelle: DOLa]

Bodenrichtwertinformationen eignen sich in besonderer Weise zur dreidimensionalen Darstellung. Die flächige Form der Bodenrichtwertzonen in Kombination mit einer vom Preis abhängigen Höhe, gibt dem Betrachter auf den ersten Blick einen verständlichen Einblick in die Kostenstruktur eines Gebietes.

[17] http://www.do-geodaten.nrw.de/grusswort/grusswort.htm, Stand: 20.03.2010
[18] http://www.gutachterausschuesse-online.de/, Stand: 21.03.2010

Bei XPlanung handelt es sich um ein Standardisierungsvorhaben im Rahmen des E-Government. Unter Berücksichtigung der relevanten Gesetze und Verordnungen wurde ein semantisches Datenmodell z. B. für Objekte der Bauleitplanung, Regionalplanung und Landschaftsplanung erarbeitet. Als Datenformat für den Austausch der Planwerke wird XPlanGML definiert. Ebenso wie CityGML handelt es sich auch bei XPlanGML um eine Anwendung der Geography Markup Language (GML 3) unter Berücksichtigung des AAA-Datenmodells. Allerdings beschränkt sich XPlanGML auf zwei Dimensionen. Standardisierte Visualisierungsvorschriften (SLD / SE) für webbasierte Bereitstellung werden separat zu den Objekten definiert.

Inhalte, die mittels XPlanGML transportiert werden, bieten sich u. a. für eine dreidimensionale Darstellung an. Daten im XPlanGML-Format bieten sich für einen dienstebasierten, internetgestützten Austausch an und können vor allem in einer dreidimensionalen Darstellung der Verdeutlichung von Inhalten in bürgernahen Anwendungen wie z. B. der Bürgerbeteiligung in Planungsprozessen dienen. Von Mai 2006 bis Mai 2007 war XPlanung Modellprojekt der GDI-DE. Schwerpunktmäßig wurden innerhalb des Modellprojektes praktische Anwendungsfälle untersucht und das Format XPlanGML evaluiert (vgl. GDI-DE, 2007).

2.5.2.3 Standards und Architekturen für E-Government-Anwendungen (SAGA)

Das Dokument Standards und Architekturen für E-Government-Anwendungen (SAGA) liegt aktuell in Version 4.0 vor. Herausgegeben vom Bundesministerium des Innern werden in SAGA Standards und technische Architekturen definiert, die eine Realisierung von IT-Projekten in der Verwaltung unterstützen sollen. Damit dient das Dokument als Leitfaden für IT-Projekte im Bereich des E-Governments in der öffentlichen Verwaltung. Das Dokument richtet sich nicht nur an Bundesbehörden, sondern auch an Länder und Kommunen. Die Ziele des SAGA Standards, Interoperabilität, Wiederverwendbarkeit, Offenheit, Reduktion von Kosten und Risiken sowie Skalierbarkeit decken sich mit den Anforderungen hinsichtlich des E-Governments im Architekturkonzept der GDI-DE (vgl. BMI, 2008). Die GDI-DE verweist in Ihrem Architekturkonzept ausdrücklich auf die Berücksichtigung der Vorgaben, die sich aus SAGA ergeben. In SAGA wird seinerseits auf die Abstimmung mit der GDI-DE hinsichtlich der Geodienste verwiesen. Der Austausch und die Visualisierung von 3D-Daten werden im SAGA-Dokument als zukünftiger Themenbereich gesetzt.

2.5.3 Infrastructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE)

Die Europäische Richtlinie 2007/2/EG zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE) ist am 15. Mai 2007 in Kraft getreten. Die Frist zur Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht der EU-Mitgliedsstaaten betrug zwei Jahre. In Deutschland geschah dies in Form des Geodatenzugangsgesetz (GeoZG). Darüber hinaus ist in Deutschland aufgrund der föderalen Struktur für die rechtliche Umsetzung auf Länderebene zu sorgen. Die geschah und geschieht entweder durch den Erlass neuer Gesetze oder durch Änderungen bestehender Gesetze. In Hessen wurde das bestehende Hessischen Vermessungs- und Geoinformationsgesetzes (HVGG) hinsichtlich der Umsetzung von INSPIRE geändert (vgl. HVGG, 2010). Die INSPIRE-Richtlinie an sich sieht die Schaffung einer Europäischen Geodateninfrastruktur vor und erwartet den Aufbau von GDI in den einzelnen Mitgliedsstaaten (vgl. INSPIRE, 2007). Im Detail definiert die INSPIRE-Richtlinie in Artikel 11 unter anderem, dass in den Mitgliedsstaaten Darstellungsdienste, die einen bestimmten Grad an Interaktivität aufweisen, bereitzustellen sind. Als Funktionalitäten sind z. B. das Navigieren, Vergrößern, Verkleinern, Verschieben, Überlagerung mit weiteren Daten sowie Legendeninformationen genannt. Die im Rahmen von INSPIRE relevanten Geodaten-Themen sind in den Anhängen I bis III der Richtlinie genannt. Während Anhang I eher Datensätze aus dem Bereich der Geobasisdaten genannt sind, gehen die Geodaten-Themen der Anhänge II und III eher in Richtung des Schwerpunktes der INSPIRE-Richtlinie, den Umwelt-Bereich. Die Konkretisierung der rechtlichen Grundlage, die die INSPIRE-Richtlinie darstellt, wird in Form von so genannten Durchführungsbestimmungen realisiert. Die Durchführungsbestimmung zu den Datenspezifikationen zu den Annex-Themen wurde bisher für die Themen des Annex I erarbeitet. In der Durchführungsbestimmung werden die Datenmodelle der einzelnen Themen festgelegt. Die Erarbeitung der Datenspezifikationen für die Anhänge II und III wird in Kürze starten, mit einer Verabschiedung der Datenmodelle ist bis 15.05.2012 zu rechnen. Für die dritte Dimension scheinen zwei Geodaten-Themen interessant: Zum Einen die Digitalen Geländemodelle, welche in Annex II vorgesehen sind und zum Anderen die Gebäude, welche als Geodaten-Thema des Anhang III definiert wurden. Da bisher jedoch keine Datenmodelle für die Daten aus Anhang II und III vorliegen, kann vor allem im Falle der Gebäude noch nicht abgeschätzt werden, inwiefern die dritte Dimension hier im Zuge von INSPIRE eine Rolle spielen wird.

2.5.4 Weitere EU-Richtlinien

Weitere Richtlinien, die seitens der EU erlassen wurden und die mit Geodaten der dritten Dimension in Berührung kommen sind zum Einen die Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (2002/49/EG) und zum Anderen die Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Die Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm wird in Abschnitt 2.2.2.2 behandelt. Die Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken sieht unter anderem die Darstellung von Hochwasserszenarien und Erstellung von Gefahren- und Risikokarten vor. Ebenso wie der Umgebungslärm-Richtlinie ist auch der Hochwasserrisiko-Richtlinie die Information der Öffentlichkeit als wesentlicher Schwerpunkt zugeordnet. Es zeichnet sich demnach in beiden, von ihrer Natur her dreidimensionalen, Handlungsfeldern zum Einen der Bedarf an dreidimensionalen Geodaten und zum Anderen ein Bedarf an passender, für den Bürger verständlichen Form der Informationsbereitstellung ab. Die beim OGC vorliegenden 3D-Darstellungsdienste scheinen hier eine wichtige Form der Präsentation bereitstellen zu können.

2.5.5 Service Oriented Architecture (SOA)

Die Service Oriented Architecture (SOA), zu Deutsch „Dienstebasierte Architektur“, wird von Melzer wie folgt definiert:

„Unter einer SOA versteht man eine Systemarchitektur, die vielfältige, verschiedene und eventuell inkompatible Methoden oder Applikationen als wiederverwendbare und offen zugreifbare Dienste repräsentiert und dadurch eine plattform- und sprachenunabhängige Nutzung und Wiederverwendung ermöglicht.“ (Melzer, I., 2008, S. 13)

Das grundlegende Prinzip einer SOA ist das so genannte *Publish-Find-Bind*-Prinzip (vgl. Abbildung 29).Zusammenfassend meint *Publish* die Veröffentlichung eines Dienstes in einem Verzeichnis, so dass dieser Dienst vom Nutzer (dieser kann auch wiederum ein anderer Dienst sein) gesucht und gefunden (*Find*) werden kann. Im Anschluss kann der Nutzer den gefundenen Dienst für seine Zwecke verwenden (*Bind*).

Es zeichnen sich demnach drei wesentliche Komponenten einer SOA ab: Der Verzeichnisdienst, die Kommunikation und die Beschreibung der Dienste. Folgende Spezifikationen werden für Web-Service-Architekturen definiert (vgl. Melzer, I., 2008, S.55):

„SOAP *beschreibt das XML-basierte Nachrichtenformat der Kommunikation und dessen Einbettung in ein Transportprotokoll.*

WSDL *ist eine – ebenfalls XML-basierte – Beschreibungssprache, um Web Services (Dienste) zu beschreiben.*

UDDI *beschreibt einen Verzeichnisdienst für Web Services. UDDI (Universal Description, Discovery and Integration protocol) spezifiziert eine standardisierte Verzeichnisstruktur für die Verwaltung, von Web-Services-Metadaten.“*

Neben dem E-Government Leitfaden des Bundes (SAGA), welcher unter anderem die Nutzung eines Architekturkonzepts nach den SOA-Prinzipien nahe legt, wird im Rahmen von INSPIRE auf eine SOA gebaut. Demzufolge entspricht auch das Konzept der GDI-DE diesem Prinzip. Abbildung 28 zeigt das SOA-Referenzmodell, wie es im SAGA-Dokument vorgeschlagen wird. Die Schnittstelle zwischen Diensterbringer und Dienstnutzer sind die Dienstschnittstellen, welche es aufgrund ihrer atomaren Struktur ermöglichen, sie, auch kombiniert miteinander, in Geschäftsprozesse einzubinden.

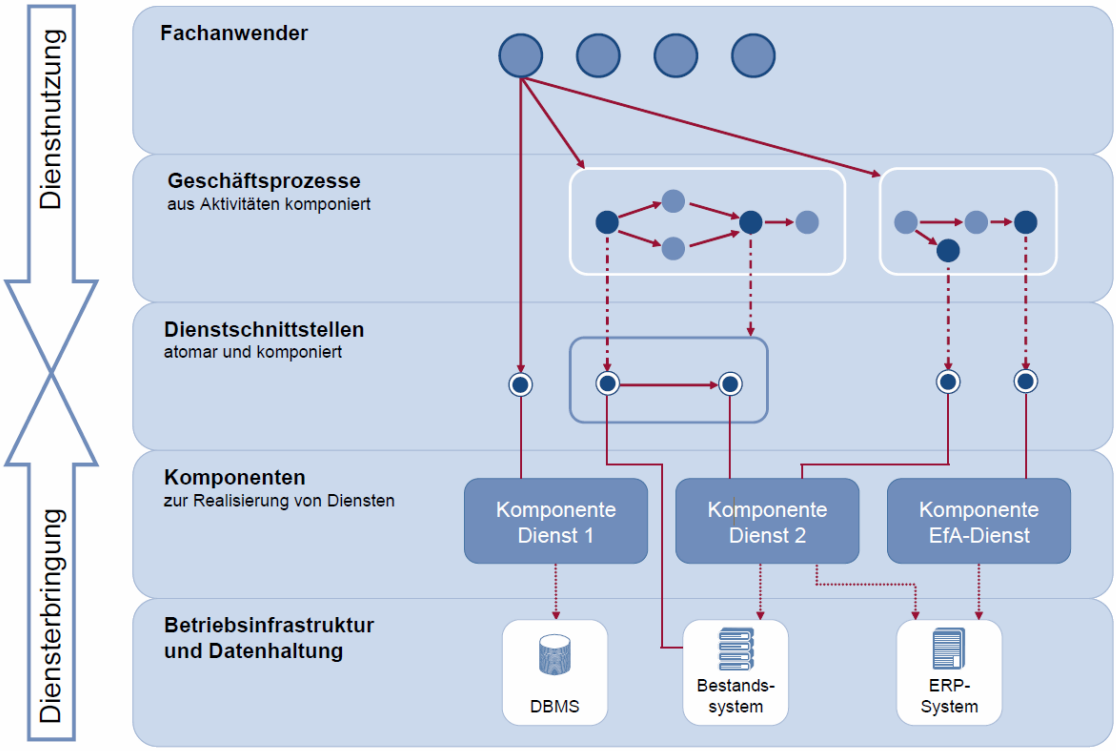

Abbildung 28: SOA-Referenzmodell

[Quelle: BMI, 2008]

Abbildung 29 und Abbildung 30 zeigen das *Publish-Find-Bind*-Prinzip und dessen Übertragung auf die GDI-DE.

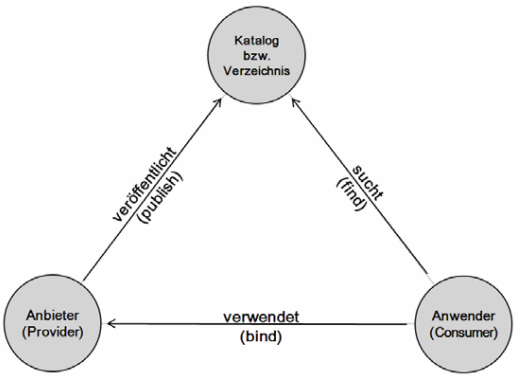

Abbildung 29: Allgemeines Publish-Find-Bind-Muster
[Quelle: GDI-DE, 2010]

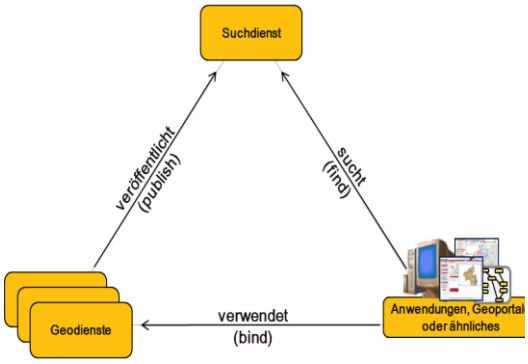

Abbildung 30: Publish-Find-Bid auf GDI-DE übertragen
[Quelle: GDI-DE, 2010]

In diesem Zusammenhang kritisch zu betrachten ist jedoch, dass die OGC Web Services, die auch seitens der GDI-DE für die Realisierung der GDI-Architektur genutzt werden sollen, zwar dem SOA-Gedanken entsprechen, sich jedoch nicht zwangsläufig als SOA-konform hinsichtlich der Spezifikationen, die durch SOA definiert sind, darstellen. Ein Beispiel hierfür ist die seitens der OGC für jeden ihrer Web Services verpflichtende Operation *GetCapabilities*, die über Hyper Text Transfer Protocol (HTTP) die Eigenschaften des angefragten Dienstes liefert. Dieses OGC-eigene Konzept weicht von dem Standards aus dem SOA-Umfeld (WSDL i. V. m. SOAP) ab. Es bleibt abzuwarten, wie sich die OGC-Standards der „Geo-Welt“ im Hinblick auf die Standards der „IT-Welt“ entwickeln.

Zusammenfassend kann der Abschnitt zu den Rahmenbedingungen für die Anwendung und Nutzung von 3D-Geodaten mit der Feststellung geschlossen werden, dass Interoperabilität die Grundlage für ein Zusammenspiel von Diensten ist. Für eine Ausschöpfung von Mehrwerten und Synergien ist auch im Bereich der 3D-Geodaten der Einsatz von Standards zur Schaffung von Interoperabilität unverzichtbar. Die Integration verteilter 3D-Dienste und Daten in Geschäftsprozesse von Fachanwendungen oder ganze Prozessketten entspricht dem Gedanken der SOA. Aktuelle E-Government-Strategien sehen zwar noch keine konkreten 3D-Anwendungen vor, fokussieren jedoch klar den Aufbau von (Geodaten-) Infrastrukturen zur Ermöglichung eines standardkonformen, webbasierten Datenaustauschs. Als zukünftiges Thema sind dreidimensionale (Geo-) Daten jedoch in allen vorangegangen beschriebenen Rahmenbedingungen gesetzt.

3 Werkzeuge zur Verarbeitung von 3D-Geodaten

Aufbauend auf den theoretischen Erkenntnissen aus der Grundlagenerarbeitung des vorangegangenen Kapitels werden im praktischen Teil der Thesis die Anforderungen an eine Bereitstellung von 3D-Geodaten beim Stadtvermessungsamt Frankfurt beleuchtet, aus den Anforderungen heraus kommunale Use-Cases konzipiert und schließlich ein prototypisches Fallbeispiel realisiert.

Im Zuge einer Marktrecherche werden nachfolgend zunächst verfügbare Softwarekomponenten zur Bereitstellung bzw. Einbindung dreidimensionaler Geodaten identifiziert und bezüglich ihrer wesentlichen Eigenschaften zusammenfassend beschrieben. Anschließend werden die verschiedenen Softwareprodukte anhand einer Bewertungsmatrix einander gegenüber gestellt und beurteilt. Die Bewertungsmatrix findet sich in Anhang A.

Die webbasierte Bereitstellung von 3D-Geodaten ist ein hochaktuelles und wichtiges Thema. Dies wird nicht zuletzt durch die aktuell überarbeiteten Discussion Paper zu den OGC Spezifikationen im 3D-Bereich deutlich (siehe auch Abschnitt 2.4.5 ff.). Die Aktualität des Themas wirft aber auch die Frage nach marktreifen Software-Lösungen auf, die den dargelegten oder einen früheren Stand der Spezifikationen umsetzen.

Derzeit ist kein Software-Produkt beim OGC gelistet, das die 3D-Darstellungsdienste W3DS bzw. WVS in den aktuellen Versionsständen der Discussion Paper implementiert hat. Auch beim W3DS in Version 0.3.0 ist lediglich ein Produkt als *Implementing* (in der Umsetzung) gelistet[19]. Der Vorgänger des WVS, der WTS wird als Server- bzw. Client-Komponente von drei Firmen angeboten[20], soll aber aufgrund der vielversprechenden Weiterentwicklung in Form des WVS nicht weiter betrachtet werden. Der Schwerpunkt der nachfolgenden Marktrecherche liegt auf dem 3D-Darstellungsdienst W3DS, in der zum Zeitpunkt der Verfassung dieser Thesis aktuellen Version 0.4.0 (vgl. Abschnitt 2.4.5). Zum WVS sind derzeit noch keine marktreifen Produkte verfügbar. Aktuell wird an einer Referenzimplementierung des WVS am Hasso Plattner Institut der Universität Potsdam gearbeitet. Über verfügbare Komponenten für den Umgang mit Web 3D Services hinaus werden zudem Client- und Server-Komponenten für die Verarbeitung der „Rohdaten“ im Format CityGML betrachtet. Anzumerken ist, dass sich

[19] http://www.opengeospatial.org/resource/products/byspec/?specid=119, Stand: 25.03.2010
[20] http://www.opengeospatial.org/resource/products/byspec/?specid=94, Stand: 25.03.2010

die Marktrecherche in Teilbereichen, insbesondere bei den verfügbaren Viewern, nur auf eine Auswahl an Produkten beschränkt und somit kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden kann.

Werkzeuge zur Verarbeitung von 3D-Geodaten können grob in folgende Kategorien unterschieden werden:

Reine Visualisierung

- Browserbasierte Clients
- Digitale Globen

Visualisierung und Analyse

- Stand-Alone Clients

Datenbereitstellung

- Serverkomponenten

Die reine Visualisierung kann sowohl browserbasiert als auch mit Hilfe von digitalen Globen, wie z. B. Google Earth realisiert werden. Bestandteil dieser Lösungen sind in jedem Fall einfach Navigationswerkzeuge zum Navigieren durch die 3D-Szenen. Dem gegenüber stehen verschiedene Stand-Alone-Lösungen, eigenständige Softwareprodukte also, die eine gesonderte Installation erfordern, dafür aber auf einen erweiterten Funktionsumfang zugreifen lassen. Zur Datenbereitstellung sind Server-Komponenten, z. B. für die Bereitstellung von CityGML-Daten per WFS oder der Bereitstellung eines W3DS, nötig. An dieser Stelle sei noch einmal auf Abbildung 20 verwiesen, in welcher die verschiedenen Client-Server-Konzepte im Bereich der 3D-Datenbereitstellung einander gegenüber gestellt sind (vgl. Abschnitt 2.4.5).

3.1 Reine Visualisierung

3.1.1 Digitale Globen

Im Bereich der digitalen Globen sorgte vor allem Google Earth für eine Revolution der Nutzung raumbezogener Daten, besonders unter „GIS-Laien“. Einige deutsche Städte, unter ihnen z. B. Hamburg und Berlin, stellen schon seit einigen Jahren ihre 3D-Stadtmodelle über Google Earth einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung. Nach An-

gaben von Google nutzen derzeit mehr als 350 Millionen Menschen Google Earth[21]. Vor allem im Bereich der Wirtschaftsförderung scheinen sich 3D-Stadtmodelle mit digitalen Globen als Plattform zur Investorengewinnung und Gewerbeansiedlung durchzusetzen. Aber auch die Visualisierung von Planungsvorhaben, z. B. als Teil der Bürgerbeteiligung, scheint vorstellbar. Als Austauschformat für dreidimensionale Daten hat sich auf dem Gebiet der digitalen Globen KML etabliert.

Bestandteil der Betrachtungen waren die digitalen Globen von Google, Microsoft und der NASA. Ein wesentlicher Vorteil der digitalen Globen liegt in der hohen Akzeptanz durch die Nutzer und dem damit verbundenen hohen Verbreitungsgrad dieser Anwendungen. Für die Steigerung der Akzeptanz in Fachanwender-Kreisen könnte die weitere Integration von OGC-Webservices sorgen. Die Möglichkeit, über einen W3DS auch KML-Dateien ausgeben zu können, scheint ein Schritt in die richtige Richtung.

3.1.2 Browserbasierte Visualisierung

Für die browserbasierte Visualisierung von webbasiert bereitgestellten 3D-Modellen existiert eine Vielzahl an Browserplugins insbesondere für die Formate Virtual Reality Modelling Language (VRML) bzw. X3D. Bestandteil der Betrachtung ist eine eingeschränkte Auswahl, zum Einen der Cortona3D Viewer, da dieser bereits standardmäßig als Plugin für den Internet Explorer mit installiert ist und zum Anderen das Plugin BS Contact Geo der Firma Bitmanagement GmbH, welches insbesondere die Visualisierung von geografischen Inhalten in 3D fokussiert. Neben dem Browserplugin steht das Produkt BS Contact Geo auch als Stand-Alone-Client für die 3D-Visualisierung zur Verfügung. Der Vorteil der Browserplugins liegt vor allem in der Möglichkeit, 3D-Inhalte in bestehende Webseiten einbinden zu können. So können auch Inhalte, welche von W3DS geliefert werden und in HTML-Dokumente eingebettet werden, von Nutzern interaktiv erkundet werden. Nachteilig auswirken kann sich allerdings die Tatsache, dass nicht jeder Nutzer bereit oder von seinen Nutzerrechten her in der Lage ist, benötigte Plugins zu installieren. Wenigstens letzteres kann mit BS Contact Geo umgangen werden, da sowohl das Plugin als auch die Stand-Alone-Lösung als Desktop-Installation ohne Administratoren-Rechte installiert werden kann.

Beide betrachteten Plugins bieten dem Nutzer einfache Navigationsmöglichkeiten, wie sie z. B. aus der Anwendung von digitalen Globen bekannt sind. Hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass BS Contact Geo neben den Grafik-Formaten VRML und X3D auch

[21] http://sketchup.google.com/intl/de/3dwh/citiesin3d/, Stand 08.02.2010

in der Lage ist, Dateien im CityGML-Format zu visualisieren. Eine Abfrage der Sachdaten ist allerdings nicht möglich.

3.2 Visualisierung und Analyse

Der Vorteil der Stand-Alone-Clients liegt im Wesentlichen in dem meist größeren Funktionsumfang, vor allem im Vergleich zu meist einfach gehaltenen Browserplugins. Die in jedem Fall nötige Installation der Software spricht allerdings dafür, den Einsatz dieser Clients für bestimmte Zielgruppen vorzusehen. Benutzer aus bestimmten Aufgabengebieten, wie z. B. der städtebaulichen Planung, haben einen Bedarf an erweiterten Funktionalitäten, wie z. B. differenziertere Navigationsmöglichkeiten oder die Abfrage von Attributen aus dem CityGML-Datenmodell oder die Integration mehrerer Modelle in einer 3D-Szene.

Neben den Möglichkeiten zur 3D-Visualisierung, Navigation und Sachdatenabfrage sind bei den kostenlosen GML-Viewern AristotelesViewer GML3D und LandXplorer CityGML Viewer auch Möglichkeiten zum Editieren der geladenen 3D-Geodaten gegeben. Diese Anwendungen eigene sich demnach als einfache Autorenwerkzeuge.

Bestandteil der Betrachtungen waren außerdem die 3D-Client-Server-Systeme SupportGISJ-3D, CityServer3D und LandXplorer Studio Professional bzw. LandXplorer Server. SupportGISJ-3D der Firma CPA Systems GmbH kommt auch beim Stadtvermessungsamt Frankfurt in der 3D-Datenhaltung zum Einsatz. Beim CityServer3D handelt es sich um ein Produkt des Fraunhofer Instituts für grafische Datenverarbeitung. Aus einem Forschungsprojekt heraus entstanden wird der CityServer3D mittlerweile über einen Vertriebspartner auch kommerziell vertrieben. Die LandXplorer-Anwendungen von Autodesk kommen z. B. in Verbindung mit dem Projekt Digital Cities zum Einsatz. Zur Visualisierung, Analyse und Bearbeitung von 3D-Geodaten stellen die genannten Anwendungen jeweils eine Client- und eine Server-Komponente zur Verfügung. Die Client-Komponenten können genutzt werden, um 3D-Szenen, welche im Anschluss z. B. über die jeweiligen Server-Komponenten webbasiert zur Verfügung gestellt werden, zusammenzustellen.

Ein weiterer W3DS-Client ist der XNavigator, welcher innerhalb eines Forschungsprojektes des Lehrstuhls für Geoinformatik am geographischen Institut der Universität Heidelberg laufend weiterentwickelt wird. Der XNavigator kommt z. B. im Projekt OpenStreetMap 3D zum Einsatz.

3.3 Datenbereitstellung

Im Bereich der webbasierten Bereitstellung von dreidimensionalen Geodaten wurden beispielhaft die Produkte SupportGISJ-3D, CityServer3D und LandXplorer Server ausgewählt. Besonders im Hinblick auf WFS gibt es darüber hinaus eine Reihe von verfügbaren Produkten. In diesem Zusammenhang bleibt anzumerken, dass die derzeit verfügbaren WFS in der Regel zur Bereitstellung von zweidimensionalen Daten im GML-Format genutzt werden. Zwar ist eine Bereitstellung von CityGML-Daten über diese Schnittstelle prinzipiell möglich und erste Referenzimplementierungen existieren, jedoch stellt sich die Bereitstellung vor allem im Hinblick auf die erreichbare Performance mitunter schwierig dar (siehe auch Abschnitt 3.4).

Performanz-Probleme entstehen in diesem Zusammenhang vor allem durch die verwurzelten Datenstrukturen bei CityGML, besonders im Bereich höherer LOD. Nachfolgend werden beispielhaft zwei Objekte aus dem 3D-Stadtmodell der Stadt Frankfurt bezüglich der Anzahl der Facetten und dem Speicherbedarf (CityGML) der jeweiligen Objekte, einmal im LOD 2 und einmal im LOD 3 gegenüber gestellt (vgl. Abbildung 31 bis Abbildung 34). Es fällt auf, wie der Speicherplatzbedarf analog zu der Anzahl der Polygone zunimmt.

Über die Bereitstellung der 3D-Daten per OGC Web Service (OWS) -Schnittstellen hinaus beinhalten die betrachteten Lösungen meist proprietäre Viewer-Lösungen für eine browserbasierter Bereitstellung der 3D-Inhalte, z. B. im Intranet.

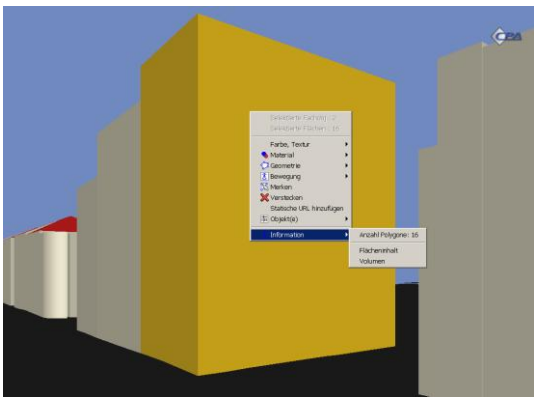

Abbildung 31: Beispiel 1: LOD 2
Datengrundlage Stadtvermessungsamt Frankfurt

Beispiel 1	
LOD 2:	16 Polygone
Speicherbedarf:	14 KB

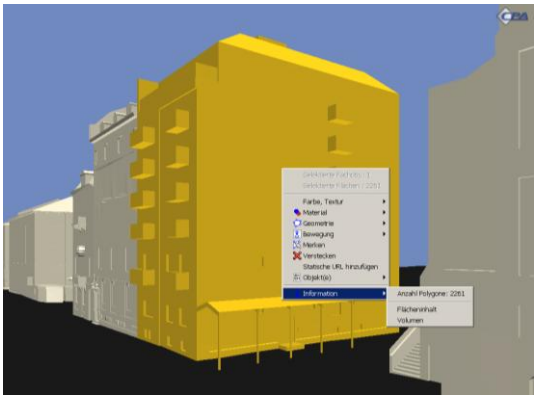

Abbildung 32: Beispiel 1: LOD 3
Datengrundlage Stadtvermessungsamt Frankfurt

Beispiel 1	
LOD 3:	2261 Polygone
Speicherbedarf:	1.549 KB

Beispiel 2	
LOD 2:	30 Polygone
Speicherbedarf:	25 KB

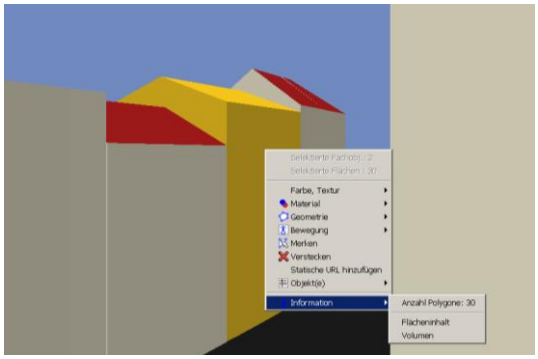

Abbildung 33: Beispiel 2: LOD 2
Datengrundlage Stadtvermessungsamt Frankfurt

Beispiel 2	
LOD 3:	1516 Polygone
Speicherbedarf:	1077 KB

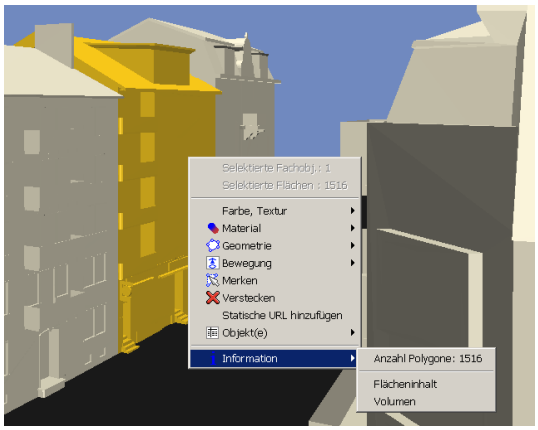

Abbildung 34: Beispiel 2: LOD 3
Datengrundlage Stadtvermessungsamt Frankfurt

3.4 Zusammenfassende Bewertung der 3D-Werkzeuge

Eine Gegenüberstellung der betrachteten Produkte findet sich in Anhang A. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass von Seiten des Datenempfängers bereits verschiedene Lösungen zur Visualisierung der über OWS bereit gestellten Daten existieren. Ein Großteil dieser Lösungen wurde zwar nicht mit der Darstellung z. B. über den W3DS gelieferter Daten entwickelt, jedoch kommen hier die standardisierten Austauschformate, wie KML oder X3D zum Tragen. Die Marktsituation bei den Produkten zur Bereitstellung des W3DS gestaltet sich übersichtlich. Es sind nur vereinzelt Produkte zu finden, die einen W3DS überhaupt unterstützen. Ein marktreifes Produkt, das die aktuelle Version des Discussion Paper zum W3DS unterstützt und kommerziell genutzt werden darf, gibt es derzeit noch nicht. Im Bereich der webbasierten, standardisierten Bereitstellung von 3D-Geodaten im Format CityGML ist zu berücksichtigen, dass diese Form der Bereitstellung zwar prinzipiell technisch möglich ist, aber noch einiges an Arbeitsaufwand in eine performante Implementierung dieses Dienstes zu investieren ist. Beschränkt man sich auf die Bereitstellung von Modellen bis LOD 2, so stellt dies jedoch mit Sicherheit eine Alternative dar. Darüber hinaus kann über eine geschickte Kombination von Streaming-Mechanismen, eine Kachelung der Daten und gezielten Einsatz von Filter Encoding eine Steigerung der Performanz erreicht werden. Als Referenzimplementierung sei auf die Lärmkartierung in Nordrhein-Westfalen verwiesen. Unter Anderem durch eine Vereinfachung des CityGML-Schemas (ohne das Schema invalide zu machen) in Kombination mit einer optimierten Zugriffsstrategie des WFS auf die CityGML-Datenhaltung konnte in diesem Projekt ein performanter WFS zur Bereitstellung großer, flächendeckend vorliegender Daten erreicht werden (vgl. Czerwinski, A., Plümer, L., 2008, S. 38ff).

In welcher Form und mittels welchen Werkzeuges 3D-Geodaten zur Verfügung gestellt werden, bleibt schließlich von der konkreten Ziel-Anwendung abhängig. Die Nutzersicht und der erforderliche Funktionsumfang in Verbindung mit dem benötigten Datenformat ergeben letztlich das einzusetzende Werkzeug. Mögliche Einsatzbereiche aus kommunaler Sicht werden in Abschnitt 4.4 beschrieben.

4 Stand und Anwendung am Beispiel der Stadt Frankfurt am Main

Im vorliegenden Kapitel werden der Stand und die Anwendungen aus dem 3D-Bereich bei der Stadt Frankfurt am Main analysiert. Nach einer Betrachtung des 3D-Datenbestandes beim Stadtvermessungsamt der Stadt Frankfurt am Main folgt die Beschreibung der derzeitigen 3D-Datenhaltung und Bereitstellung. Das Kapitel schließt mit der Konzeption kommunaler 3D-Use-Cases. Es werden aus kommunaler Sicht Anwendungsfälle für die standardisierte, webbasierte Bereitstellung von 3D-Geodaten beschrieben.

4.1 Datenbestand 3D

Die zentrale Aufgabe des Stadtvermessungsamtes Frankfurt am Main ist die Erstellung und Pflege des amtlichen Karten- und Planwerkes, in digitaler Form. Zu diesem Zweck wird ein Geoinformationssystem, das so genannte Basis-GIS, geführt. Im Basis-GIS der Stadt Frankfurt wird die Digitale Stadtgrundkarte (DSGK) gepflegt. Bei der DSGK handelt es sich um eine veredelte Version der durch die Landesvermessung zur Verfügung gestellten ALK. Im Unterschied zur ALK werden in der DSGK Informationen in einem höheren Detaillierungsgrad gepflegt. So sind die Informationen aus der ALK zum Einen um Geometrien (z. B. innen liegende Wände von Gebäuden) und Topografie (z. B. Straßenflächen) und zum Anderen um beschreibende Sachdaten, wie z. B. Gebäudehöhen (First-, Traufhöhe) ergänzt. Bei der DSGK Frankfurts handelt es sich demnach um die 2D-Geo-Basis des Stadtvermessungsamtes, auf die verschiedene Planwerke bzw. Fachanwendungen aufsetzen. Sie dient als Raumbezugsbasis für vielfältige städtische Fachinformationssysteme wie z. B. Kanalinformationssysteme, Verkehrsleitsysteme, das Leitsystem der Brandschutzdirektion, Auskunftssystem des Stadtplanungsamtes oder Netzinformationssysteme. Planwerke, die auf der DSGK aufsetzen sind z. B. Biotop- und Grünkataster, digitale Satzungsflächen der Bauaufsichtsbehörde, Hochwasserlinien oder Richtwertkarten.

Über die Daten aus der 2D-Datenhaltung der DSGK hinaus werden beim Stadtvermessungsamt 3D-Geobasisdaten in Form von Luftbildern sowie Laserscandaten und daraus abgeleitete DGM vorgehalten (siehe auch Abschnitt 2.1.3) und abgeben.

Im Bereich der 3D-Geofachdaten wird beim Stadtvermessungsamt als zentrales Produkt ein 3D-Stadtmodell vorgehalten. Flächendeckend, d. h. für etwa 230.000 Gebäudeflächen, liegt das Frankfurter 3D-Stadtmodell sowohl in LOD 1 als auch in LOD 2 vor. Projektbezogen sind zudem Gebiete in LOD 3 in das Stadtmodell eingebunden. Diese Projektgebiete umfassen derzeit etwa 300 Gebäude. Die Ableitung der 3D-Datenhaltung erfolgt auf Basis der 2D-Datenhaltung. Das heißt, die flächendeckende Ableitung des LOD 1 und LOD 2 fand auf Basis der 2D-Gebäudegrundrisse aus der DSGK in Verbindung mit der Laserscandaten aus einer Befliegung statt. Bei der Fortführung des 3D-Stadtmodells wird z. B. auf die Informationen aus Bauanträgen zurück gegriffen, die zunächst in die 2D-Datenhaltung übernommen wurden. Zur Fortführung des 3D-Stadtmodells wird ein regelmäßiger Datenbankabgleich durchgeführt, der die Veränderungen aus dem 2D-Bereich zur Übernahme in die 3D-Datenhaltung liefert.

4.2 Datenhaltung 3D

Der gesamte 3D-Datenbestand des Stadtvermessungsamtes Frankfurt am Main wird im Format CityGML (seit Januar 2010 im Format 1.0) vorgehalten, das Datenvolumen beträgt derzeit etwa 140 GB. Zur Verwaltung des Modells wird ein Datenbank-Server unter Oracle 10g betrieben. Zur Fortführung wird die Software SupportGISJ3D (SGJ3D) eingesetzt. Damit wird bei Stadtvermessungsamt Frankfurt, wie bei vielen Vermessungsverwaltungen auf Landes- und kommunaler Ebene der Ansatz verfolgt, die 3D-Datenhaltung auf Basis von CityGML neben der ALKIS-Datenhaltung zu führen. Langfristig wird jedoch eine echte 3D-Modellierung innerhalb des AAA-Modells angestrebt, um eine integrierte Datenhaltung von 2D- und 3D-Geodaten zu ermöglichen.

4.3 Datenbereitstellung 3D

Eine Bereitstellung des 3D-Stadtmodells der Stadt Frankfurt findet derzeit in den Formaten 3DPDF, Shapefile (3D), VRML, 3DXF, KML/KMZ und CityGML statt. Eine Bereitstellung über Plattformen wie Google Earth ist nicht vorgesehen.

Darüber hinaus wird das DGM als ein Produkt aus den Laserscandaten in Form eines 1 m- bzw. 10 m-Rasters als ASCII-Datei oder DXF zur Verfügung gestellt.

Neben den Datenabgaben für begrenzte Gebiete wird das Modell stadtintern über einen browserbasierten Viewer *Smartviewer* bereitgestellt. Der Viewer ist Bestandteil der SGJ3D-Anwendung und umfasst sowohl eine 3D- als auch eine 2D-Ansicht. Neben Navigationsmöglichkeiten sind Suchfunktionen über Adresse und Hausnummer gegeben. Eine Sachdatenabfrage ist nicht möglich. Zu Zwecken der Lärmausbreitungsberechnung wurde den Mitarbeitern des Umweltamtes ein direkter Zugriff auf die 3D-Datenhaltung eingerichtet. Abbildung 35 enthält eine Übersicht der derzeitigen Datenabgaben des Stadtvermessungsamtes Frankfurt im 3D-Bereich.

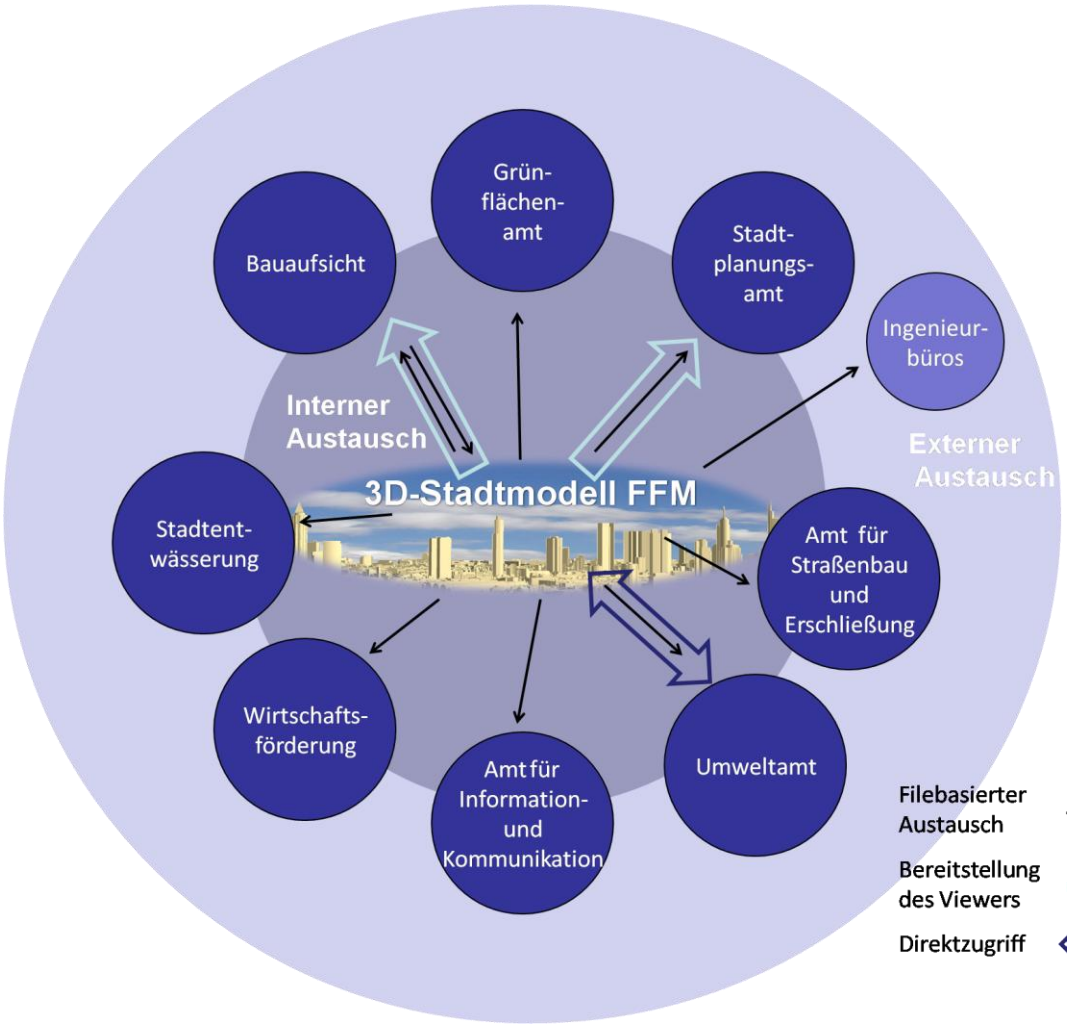

Abbildung 35: 3D-Datenaustausch bei der Stadt Frankfurt am Main

Diese Übersicht zeigt, dass der Datenaustausch der 3D-Daten derzeit hauptsächlich filebasiert stattfindet. Innerhalb des Stadtvermessungsamtes kommt der Viewer bei 30 Mitarbeitern zum Einsatz, sowie bei der Bauaufsicht (10 Mitarbeiter) und zukünftig beim Stadtplanungsamt (15 Mitarbeiter). Die Datenbereitstellung an externe Stellen beschränkt sich derzeit auf Abgaben an planende Ingenieurbüros.

4.4 Beschreibung kommunaler 3D-Use-Cases

Aufbauend aus den Erkenntnissen der vorangegangenen Abschnitte zum derzeitigen Stand und den Anwendungen des 3D-Stadtmodells des Stadtvermessungsamtes Frankfurt folgt in diesem Abschnitt die Konzeption kommunaler 3D-Use-Cases für eine OGC-konforme Bereitstellung der 3D-Geodaten. Es werden aus kommunaler Sicht Anwendungsfälle für die standardisierte, webbasierte Bereitstellung von 3D-Geodaten beschrieben und zukünftige 3D-Datennutzer identifiziert.

4.4.1 Entscheidungsunterstützung in der Bauaufsicht

Die Bauaufsicht hat insbesondere das Aufgabengebiet der baurechtlichen und planungsrechtlichen Beurteilungen inne. Eine Visualisierung geplanter Gebäude als Bestandteil des 3D-Stadtmodells könnte demnach eine wesentliche Entscheidungsunterstützung darstellen und Arbeitsabläufe vereinfachen. Zwar hat die Bauaufsicht schon heute Zugriff auf den Stadtinternen 3D-Viewer, jedoch bietet dieser einen nur sehr eingeschränkten Funktionsumfang. Insbesondere eine Funktion zum Messen von Entfernungen und Flächen wird seitens der Bauaufsicht benötigt. Des Weiteren wäre ein lesender Zugriff auf die Sachdaten aus der CityGML-Datenhaltung hilfreich. Da das Stadtvermessungsamt die geplanten Gebäude aus den Bauanträgen direkt in das 3D-Stadtmodell übernimmt, ist die erforderliche Aktualität der Datengrundlage gegeben. Abbildung 36 enthält das Use-Case-Diagramm, welches im Anschluss in Tabelle 4 beschrieben wird.

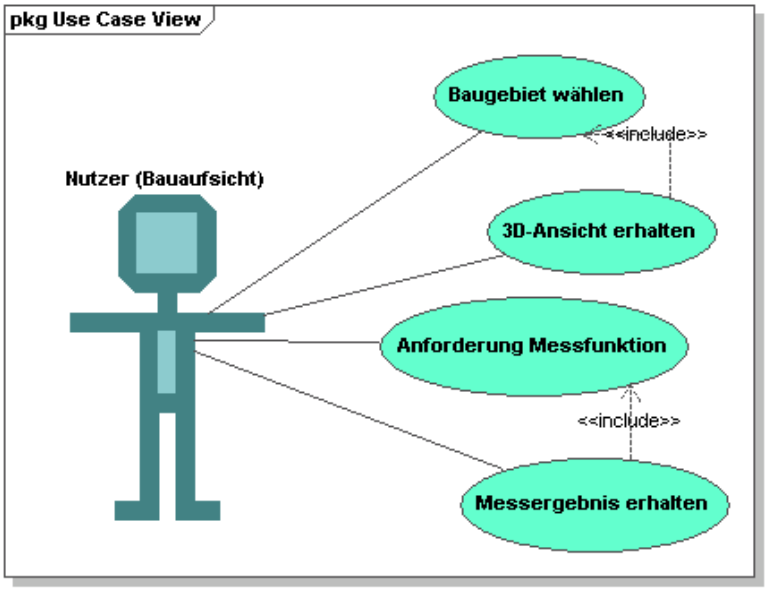

Abbildung 36: Use-Case-Diagramm: Bauaufsicht

Tabelle 4: Use Case "Entscheidungsunterstützung Bauaufsicht"

Use Case Name:	**Entscheidungsunterstützung Bauaufsicht**	
Beschreibung:	Der Nutzer fordert eine 3D-Ansicht von einem WVS für ein potenzielles Baugebiet an und führt in der gelieferten Ansicht Entfernungsmessungen durch.	
Ziel bei erfolgreicher Auslösung:	Der Nutzer erhält die Ergebnisse Entfernungsmessung in der 3D-Ansicht.	
Vorbedingung:	• Nutzer hat einen Standard-Internetbrowser • Das Zielobjekt des Nutzers liegt innerhalb des Gebietes, das durch das 3D-Stadtmodell abgedeckt ist	
Nachbedingung:	Der Internetbrowser zeigt die Berechnungsergebnisse an. Der Internetbrowser visualisiert die vom WVS generierte 3D-Ansicht.	
Hauptablauf:	Nutzer fordert Suchfunktion an.	System öffnet Suchdialog (Straße, Hausnummer, PLZ).
	Nutzer gibt Suchkriterien ein.	System führt Suche aus und zeigt Suchergebnisse in Listenform.
	Nutzer wählt gewünschtes Objekt aus der Liste der Suchergebnisse.	System führt Anfrage an WVS aus und liefert die gewünschte Ansicht aus dem 3D-Stadtmodell (Gebäude, geplante Gebäude, Verkehrsflächen,…).
	Nutzer wählt Messfunktion (Entfernung) aus und definiert Anfangs- und Endpunkt.	System führt Berechnungsanfrage an den WVS aus und liefert das Ergebnis.

4.4.2 Visualisierung von Planungsvarianten

Gerade im Aufgabenbereich des Stadtplanungsamtes besteht die Anforderung, Planungsvorhaben bzw. Planungsvarianten zu beurteilen. Der Einsatz eines W3DS zur Visualisierung von 3D-Inhalten bietet sich insbesondere zur Visualisierung von Planungsvarianten im Gebäudebestand an. Datengrundlagen aus verschiedenen Quellen, wie z. B. verschiedenen Planungsbüros und dem Stadtvermessungsamt, können integriert in eine 3D-Szene visualisiert, verglichen und beurteilt werden. Abbildung 37 enthält das Use-Case-Diagramm, welches im Anschluss in Tabelle 5 beschrieben wird.

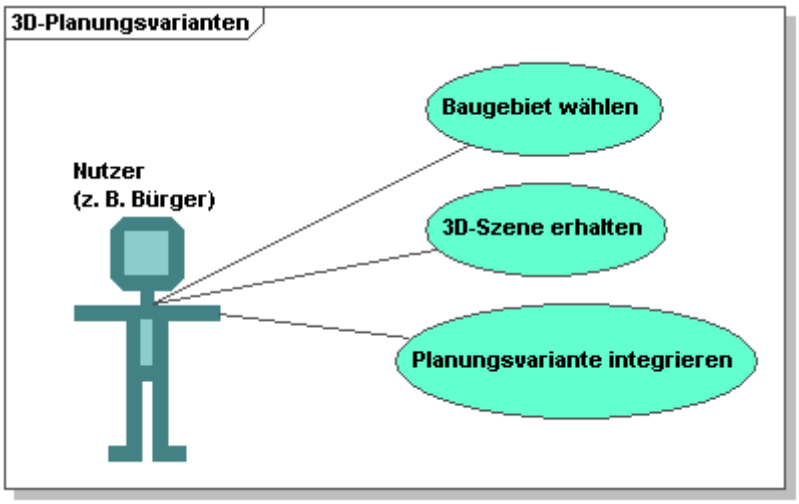

Abbildung 37: Use-Case-Diagramm: 3D-Planungsvarianten

Tabelle 5: Use-Case "3D-Planungsvarianten"

Use Case Name:	**3D-Planungsvarianten**
Beschreibung:	Der Nutzer fordert eine 3D-Szene aus dem 3D-Stadtmodell als W3DS an und integriert die lokal gespeicherte geplante Bebauung.
Ziel bei erfolgreicher Auslösung:	Der Nutzer erhält eine integrierte Visualisierung der geplanten Bebauung im Gebäudebestand als navigierbare 3D-Szene.
Vorbedingung:	• Nutzer hat einen W3DS-Client, der die gemeinsame Visualisierung von 3D-Daten aus verschiedenen Quellen unterstützt. • Das Zielobjekt des Nutzers liegt innerhalb des Gebietes, das durch das 3D-Stadtmodell abgedeckt ist.

	• Die geplante Bebauung liegt in einem vom Client lesbaren Format und dem gleichen Raumbezugssystem wie das 3D-Stadtmodell vor.	
Nachbedingung:	Der W3DS-Client zeigt die integrierte Visualisierung der geplanten Bebauung im Gebäudebestand des 3D-Stadtmodells an.	
Hauptablauf:	Nutzer fordert Suchfunktion an.	System öffnet Suchdialog (Straße, Hausnummer, PLZ).
	Nutzer gibt Suchkriterien ein.	System führt Suche aus und zeigt Suchergebnisse in Listenform.
	Nutzer wählt gewünschtes Objekt aus der Liste der Suchergebnisse.	System führt Anfrage an W3DS aus und liefert die gewünschte Ansicht aus dem 3D-Stadtmodell (Gebäude, geplante Gebäude, Verkehrsflächen,…).
	Nutzer fügt lokal gespeicherte Datei der geplanten Bebauung der 3D-Szene hinzu.	System visualisiert die geplante Bebauung im Gebäudebestand.

4.4.3 Solarpotenzial On-Demand

Zur Förderung der Nutzung von regenerativen Energien kann das 3D-Stadtmodell zur Ermittlung des solaren Energiepotenzials von Dachflächen genutzt werden (vgl. Abschnitt 2.2.2.3). Geht man von einer Berechnung des Solarpotenzials aus einer Kombination von Laserscandaten aus einer Befliegung und den zweidimensionalen Gebäudegrundrissen aus, so dient das 3D-Stadtmodell schließlich der dreidimensionalen Visualisierung der Ergebnisse. Die Berechnung der potenziell für die Nutzung von Solaranlagen (Photovoltaik / Solarthermie) geeigneten Dachflächen soll in diesem Ansatz nicht für das gesamte Stadtgebiet, sondern für einzelne Gebäudeobjekte erfolgen. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass die jeweils aktuellen Datengrundlagen für die Berechnung herangezogen werden können. Für die Durchführung der eigentlichen Berechnung

des Solarpotenzials eines Gebäudeobjektes schient der Einsatz eines Web Processing Service (WPS) geeignet. Ein WPS ermöglicht es dem Nutzer, serverseitige Berechnungen anzustoßen und stellt somit GIS-Funktionalitäten im Internet bereit. Die Übergabe des Berechnungsergebnisses ist in drei Formen vorstellbar: alphanumerisch in Form einer Sachdatentabelle, als 2D-Visualisierung über einen WMS und als 3D-Visualisierung über einen W3DS. Die 3D-Visualisierung per W3DS bietet den Vorteil, dass der Nutzer sich um „sein“ Gebäude herum bewegen kann, und sich auf diesem Wege Zusammenhänge, wie z. B. Schattenwurf durch Dachgauben, Bäume, Nachbargebäude, eindeutig erschließen. Abbildung 38 enthält das Use-Case-Diagramm, welches im Anschluss in Tabelle 6 beschrieben wird.

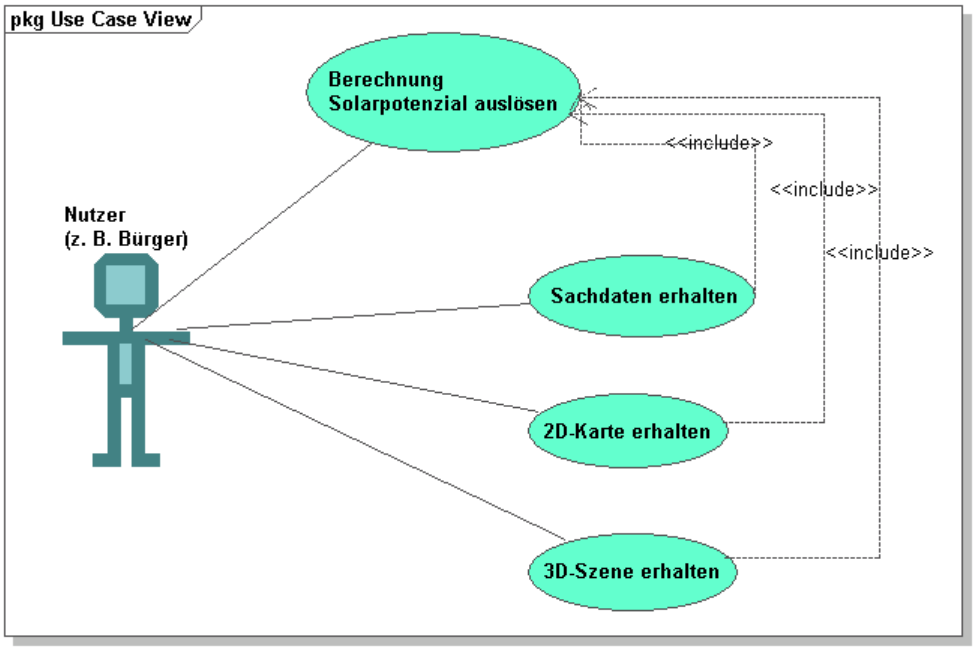

Abbildung 38: Use Case Diagramm: Solarpotenzial On-Demand

Tabelle 6: Use Case "Solarpotenzial On-Demand"

Use Case Name:	**Solarpotenzial On-Demand**
Beschreibung:	Der Nutzer löst eine webbasierte Echtzeit-Berechnung des Solarpotenzials seines Gebäudes aus und kann sich die Ergebnisse der Berechnung in Form von Sachdaten oder kombiniert mit einer 2D-Karte bzw. 3D-Szene darstellen lassen.
Ziel bei erfolgreicher Auslösung:	Der Nutzer erhält die Ergebnisse der Solarpotenzialberechnung als Sachdaten und wahlweise als 2D- oder 3D-Ansicht.
Vorbedingung:	• Nutzer hat einen Standard-Internetbrowser

	• Nutzer hat ein 3D-Browser-Plugin installiert • Das Zielobjekt des Nutzers liegt innerhalb des Gebietes, das durch das 3D-Stadtmodell bzw. Laserscandaten abgedeckt ist	
Nachbedingung:	Der Internetbrowser zeigt die Berechnungsergebnisse in Form einer Tabelle an Der Internetbrowser visualisiert die Berechnungsergebnisse auf einer 2D-Karte (Gebäudegrundrisse, Baumstandorte, Solarpotenzialflächen des angefragten Gebäudes, Legende) Der Internetbrowser stellt die Berechnungsergebnisse in Form einer 3D-Szene dar (3D-Stadtmodell, Bäume, Solarpotenzialflächen unterschiedlicher Eignung, Betrachterpunkte, Beleuchtung, Legende) und der Nutzer kann sich durch die 3D-Szene navigieren.	
Hauptablauf:	Nutzer fordert Suchfunktion an	System öffnet Suchdialog (Straße, Hausnummer, PLZ)
	Nutzer gibt Suchkriterien ein	System führt Suche aus und zeigt Suchergebnisse in Listenform
	Nutzer wählt gewünschtes Objekt aus der Liste der Suchergebnisse	System navigiert 2D-Kartendarstellung auf das ausgewählte Objekt und schließt die Liste der Suchergebnisse
	Nutzer bestätigt die Auswahl	System führt Berechnung des Solarpotenzials aus und liefert das Ergebnis in Form einer Sachdaten-Tabelle.
	Nutzer wählt zwischen einer Ergebnisdarstellung in 2D oder 3D	System liefert das Berechnungsergebnis in 2D- bzw. 3D-Ansicht

4.4.4 Wärmebedarfskataster

Im Auftrag eines Energieversorgers wird derzeit auf Grundlage des CityGML-Stadtmodells des Stadtvermessungsamtes eine Machbarkeitsstudie für ein Wärmebedarfskataster durchgeführt. In diesem Zusammenhang scheinen die 3D-Darstellungsdienste des OGC zum Einen zur Visualisierung der Berechnungsergebnisse im 3D-Modell interessant. Zum Anderen ist eine Einbeziehung von Thermalbildern der betrachteten Gebäude vorstellbar. Zukünftig könnte der WVS über die Integration von einem zusätzlichen Bild-Layer, welcher ein Thermalbild enthält, Auskunft über den energetischen Zustand eines Gebäudes bzw. der Gebäude einer 3D-Ansicht geben. Über die Objekt-Identifikatoren aus dem *object layer* könnten die Sachinformationen, die im Thermalbild zu einem bestimmten Objekt abgelegt sind, abgefragt werden. Abbildung 39 enthält das Use-Case-Diagramm, welches im Anschluss in Tabelle 7 beschrieben wird.

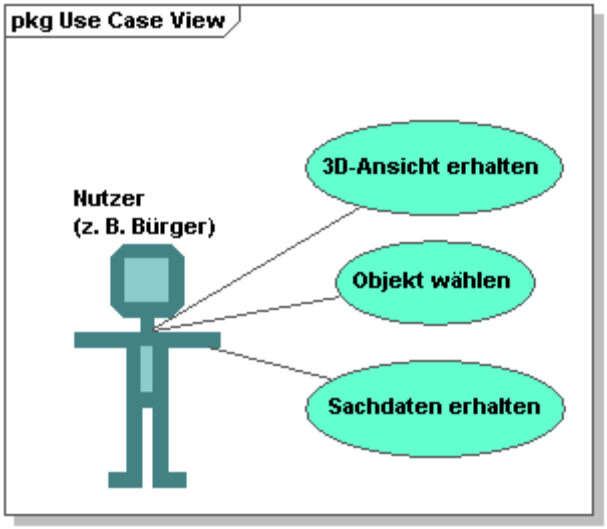

Abbildung 39: Use-Case-Diagramm: Wärmebedarfskataster

Tabelle 7: Use-Case "Wärmebedarfskataster"

Use Case Name:	**Wärmebedarfskataster**	
Beschreibung:	Der Nutzer wählt in einer vom Server generierten 3D-Ansicht ein Objekt aus, zu dem ihm im Anschluss Sachdaten aus einem Thermalbild geliefert werden.	
Ziel bei erfolgreicher Auslösung:	Der Nutzer erhält die Sachdaten zu einem in der 3D-Ansicht gewählten Objekt.	
Vorbedingung:	• Nutzer hat einen Standard-Internetbrowser • Das Zielobjekt des Nutzers liegt innerhalb des Gebietes, das durch das 3D-Stadtmodell abgedeckt ist	
Nachbedingung:	Der Internetbrowser zeigt die Berechnungsergebnisse an. Der Internetbrowser visualisiert die vom WVS generierte 3D-Ansicht.	
Hauptablauf:	Nutzer fordert Suchfunktion an.	System öffnet Suchdialog (Straße, Hausnummer, PLZ).
	Nutzer gibt Suchkriterien ein.	System führt Suche aus und zeigt Suchergebnisse in Listenform.
	Nutzer wählt gewünschtes Objekt aus der Lister der Suchergebnisse.	System führt Anfrage an WVS aus und liefert die gewünschte Ansicht aus dem 3D-Stadtmodell (Gebäude, Verkehrsflächen, Vegetation,..).
	Nutzer wählt Objekt des Interesses aus und fordert Sachinformationen an.	System führt Anfrage an den WVS aus und liefert das Ergebnis.

5 Prototypische Umsetzung eines ausgewählten Use-Cases

Grundsätzlich ist beim Einsatz von Web-Services von dem in Abbildung 40 skizzierten funktionalen Aufbau auszugehen. Der Datenanbieter möchte seine vorhandenen 3D-Geodaten Web-Services zur Verfügung stellen. Die Wahl des geeigneten Web-Service ist von den Anforderungen, die es auf Seite des Clients zu erfüllen gilt, abhängig. Die Services an sich werden zwar in den Spezifikationen des OGC beschrieben, wie der tatsächliche Zugriff des jeweiligen Service auf die Daten in der Datenhaltung genau stattfindet, ist jedoch softwareabhängig. Ebenso verhält es sich mit der Software, die der Nutzer bzw. Client für die Ansprache der Dienste nutzt. Was durch die Spezifikationen des OGC vorgegeben ist und zur Erfüllung der Spezifikation zwingend einzuhalten ist, sind die Operatoren, mit denen der jeweilige Service angesprochen wird. Nach der für jeden OGC-Web-Service obligatorischen *GetCapabilities*-Anfrage, welche die Eigenschaften des Dienstes in Form eines XML-Dokumentes liefert, folgt beim WFS die *GetFeature*-Anfrage, beim W3DS die *GetScene*-Anfrage und beim WVS eine *GetView*-Operation. Diese Operationen liefern schließlich die im Service definierten Datenformate an den Client. Über den durch den Client ausgelösten Zugriff hinaus können die Services im Hintergrund auch auf andere Services zurückgreifen. So kann ein WFS auch als Datenquelle für die Bereitstellung von 3D-Darstellungen per W3DS bzw. WVS dienen. Im Bereich der Darstellungsdienste spielen zudem Visualisierungsvorschriften, das Symbology Encoding für 3D-Kartendarstellunge eine Rolle.

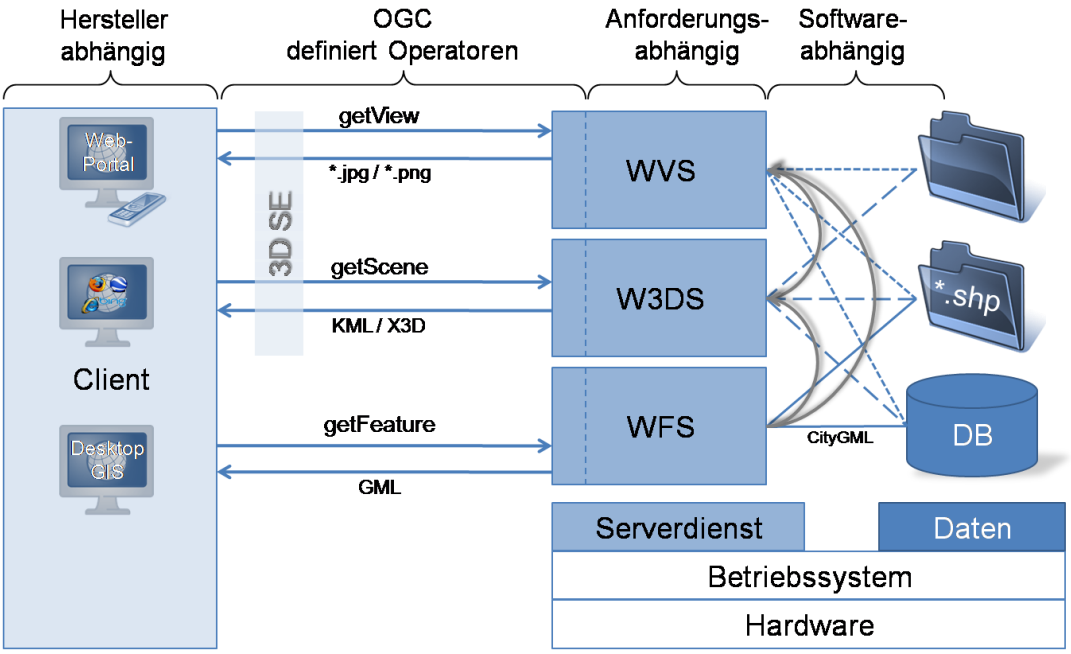

Abbildung 40: Funktionsweise Web-Services

5.1 Implementierung des Use-Case „Solarpotenzial On-Demand"

Zur prototypischen Implementierung wurde der in Abschnitt 4.4.3 beschriebene Use-Case „Solarpotenzial On-Demand" gewählt. Dieser Use-Case eignet sich aus verschiedenen Gesichtspunkten für eine prototypische Umsetzung. Die Aktualität des Themengebietes der Nutzung regenerativer Energien verspricht eine hohe Frequentierung des Dienstes durch den Nutzer. Da es sich bei den potenziellen Nutzern zudem um Bürger handelt, scheint eine besondere Außenwirkung durch die Bereitstellung des 3D-Dienstes gesichert. Somit könnten die bisher überschaubaren Abgaben aus dem Frankfurter 3D-Modell an Externe erweitert werden. Bei gesamtheitlicher Betrachtung handelt es sich bei diesem Use-Case um einen echten Mehrwert-Dienst, der durch eine Verkettung einzelner Dienste den SOA-Gedanken umsetzen kann. Angelehnt an Abbildung 40 wird nachfolgend die Funktionsweise der Dienste-Umgebung skizziert (vgl. Abbildung 41). Nach einer Adresssuche des Nutzers über ein Web-Portal wird die *GetMap*-Anfrage an den WMS weiter gegeben. Dieser liefert die 2D-Kartenansicht an den Nutzer, damit dieser seine Auswahl überprüfen kann. Die Bestätigung der Auswahl ist die Operation *ExecuteOperation*, die an den WPS übergeben wird. Dieser löst seinerseits die serverseitige Berechnung des Solarpotenzials aus. Für die Berechnung greift der Server auf die Datengrundlagen aus der DSGK und die Laserscandaten (.las) zurück. Das Ergebnis wird zunächst über den WMS als 2D-Darstellung geliefert. Im Anschluss kann der Nutzer eine 3D-Szene vom W3DS anfordern (*GetScene*), welche in einem durch ein Browser-Plugin interpretierbares Format (VRML bzw. X3D) geliefert

wird. Für die Erstellung des durch den W3DS zu liefernden Szenegrafen wird durch das W3DS-Servlet auf die CityGML-Datenhaltung und die Ergebnisse aus der Solarpotenzial-Berechnung zurückgegriffen. Das Solarpotenzial liegt in Form von Polygonen vor. Die Polygone sind jeweils der Teil einer Dachfläche, die für eine Nutzung für Solargewinnung geeignet scheinen. Der Grad der Eignung ist in den Sachdaten zu den Polygonen abgelegt. Über die Visualisierungsvorschriften (3D SE) werden vordefinierte Darstellungsvorgaben abgerufen. Dazu gehört unter anderem die Positionierung der geeigneten Dachflächen auf den *RoofSurfaces* aus dem CityGML-Modell. Über eine GetFeatureInfo-Anfrage an den W3DS kann der Nutzer zudem die weiteren Sachdaten der Berechnungsergebnisse, wie z. B. die mögliche CO_2-Einsparung, abrufen.

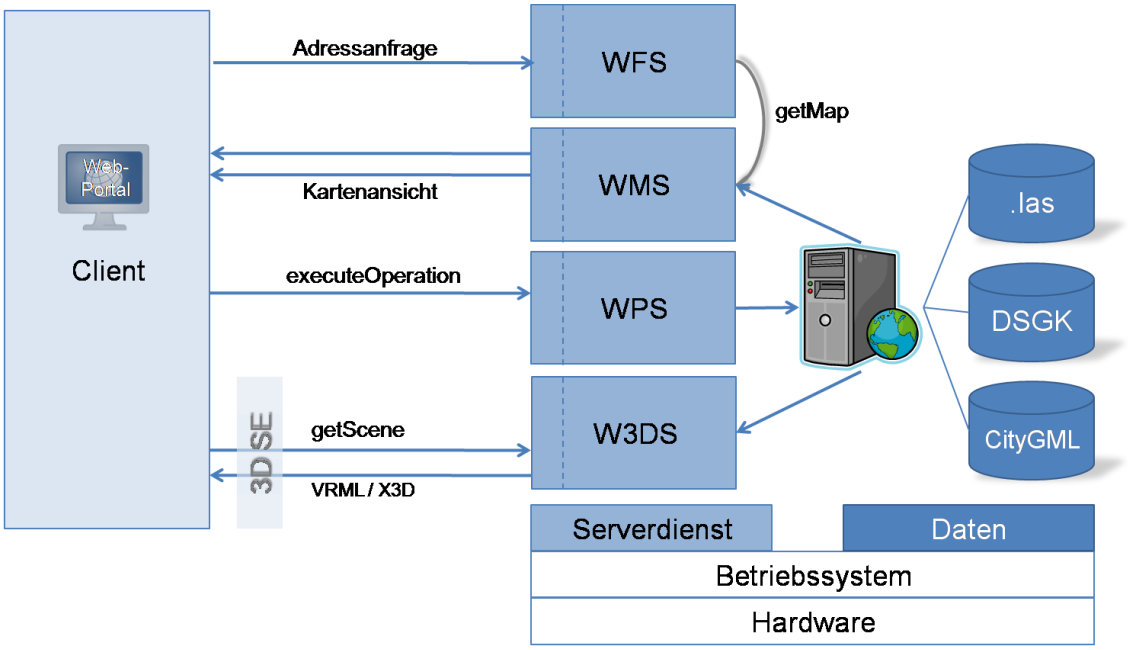

Abbildung 41: Funktionsweise "Solarpotenzial On-Demand"

Für die beispielhafte prototypische Realisierung wurde auf bereits bestehende Berechnungsergebnisse aus einer Solarpotenzial-Analyse zurück gegriffen. Die Ergebnisse aus einer flächendeckenden Berechnung konnten für ein Testgebiet mittels ArcGIS ArcScene der Firma ESRI aufbereitet werden. Die thematische Darstellung des ermittelten Potenzials für Solaranlagen wurde in diesem Fall wie folgt realisiert: Die Bereiche der Dachflächen, die sich für die Installierung von Photovoltaik-Anlagen eignen würden, werden jeweils auf den Dachflächen visualisiert. Neben der farblichen Klassifizierung der Eignung, von „bedingt geeignet“ über „gut geeignet“ bis „sehr gut geeignet“,

wurde die höhenmäßige Ausdehnung der geeigneten Dachflächen von der möglichen CO_2-Einsparung abhängig gemacht. Je höher die geeignete Dachfläche, desto größer das CO_2-Einsparpotenzial.

Im Anschluss an die thematische Aufbereitung konnte die erstellte 3D-Szene aus ArcScene heraus als VRML-Datei exportiert werden. Der Import der VRML-Datei auf einen W3DS-fähigen Server wurde mit dem CityServer3D-AdminTool realisiert. Von dort wird die Szene für eine Ansprache über die W3DS-Schnittstelle zur Verfügung gestellt[22]. Abbildung 42zeigt erstellte 3D-Szene.

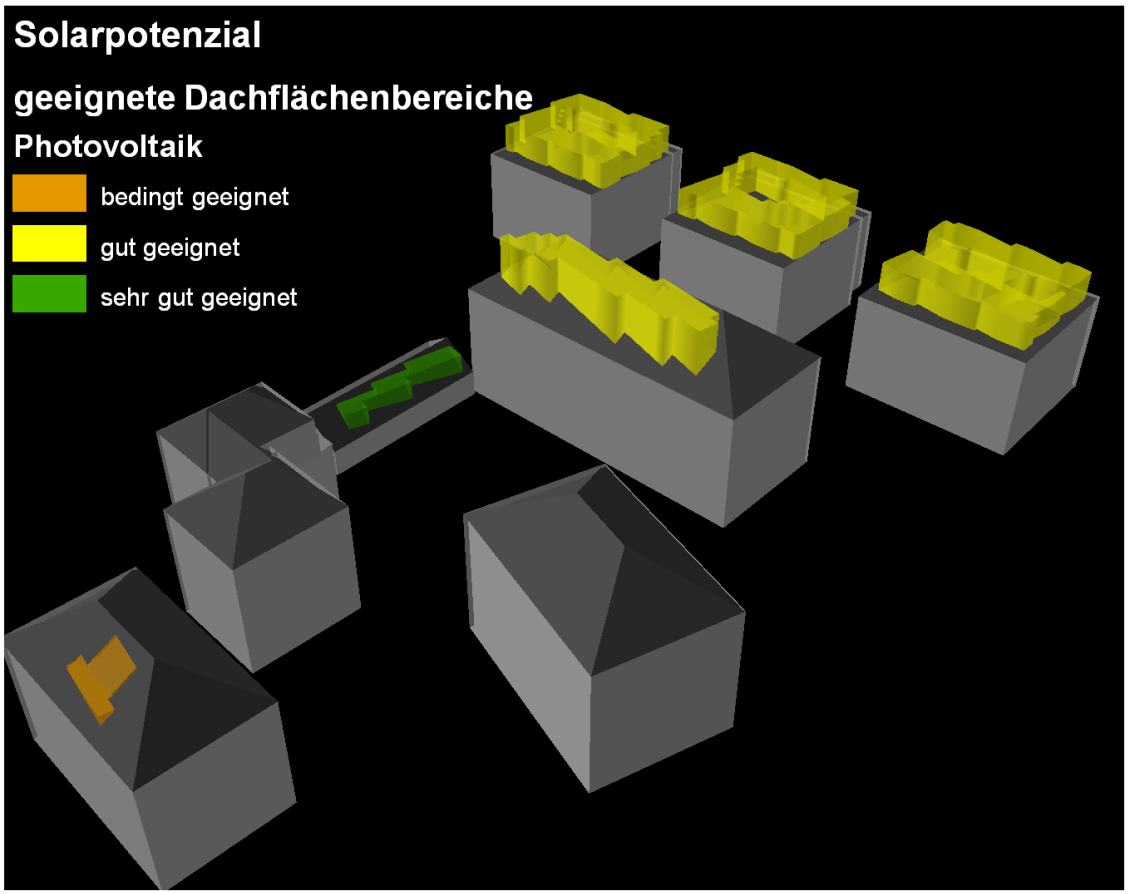

Abbildung 42: 3D-Visualisierung des Solarpotenzials

22

http://pc1869.igd.fraunhofer.de:8080/cs3d/Controller?do=GetScene&VERSION=0.3.0&BBOX=3445726,5548192,3445800,5548319&SRS=EPSG:31467&FORMAT=model/vrml, Zeitlich begrenzte Teststellung des CityServer3D bis zum 30.04.2010

5.2 Ergebnisse

Im Ergebnis steht die 3D-Szene als VRML über einen W3DS bereit. Die 3D-Szene konnte darüber hinaus über einen browserbasierten Viewer in den Internet-Auftritt der GDI-Testplattform *INSPIRE-kommunal* integriert werden[23]. Über die Seite der GDI-Testplattform kann auch auf den Link zum W3DS zugegriffen werden (vgl. Abbildung 43).

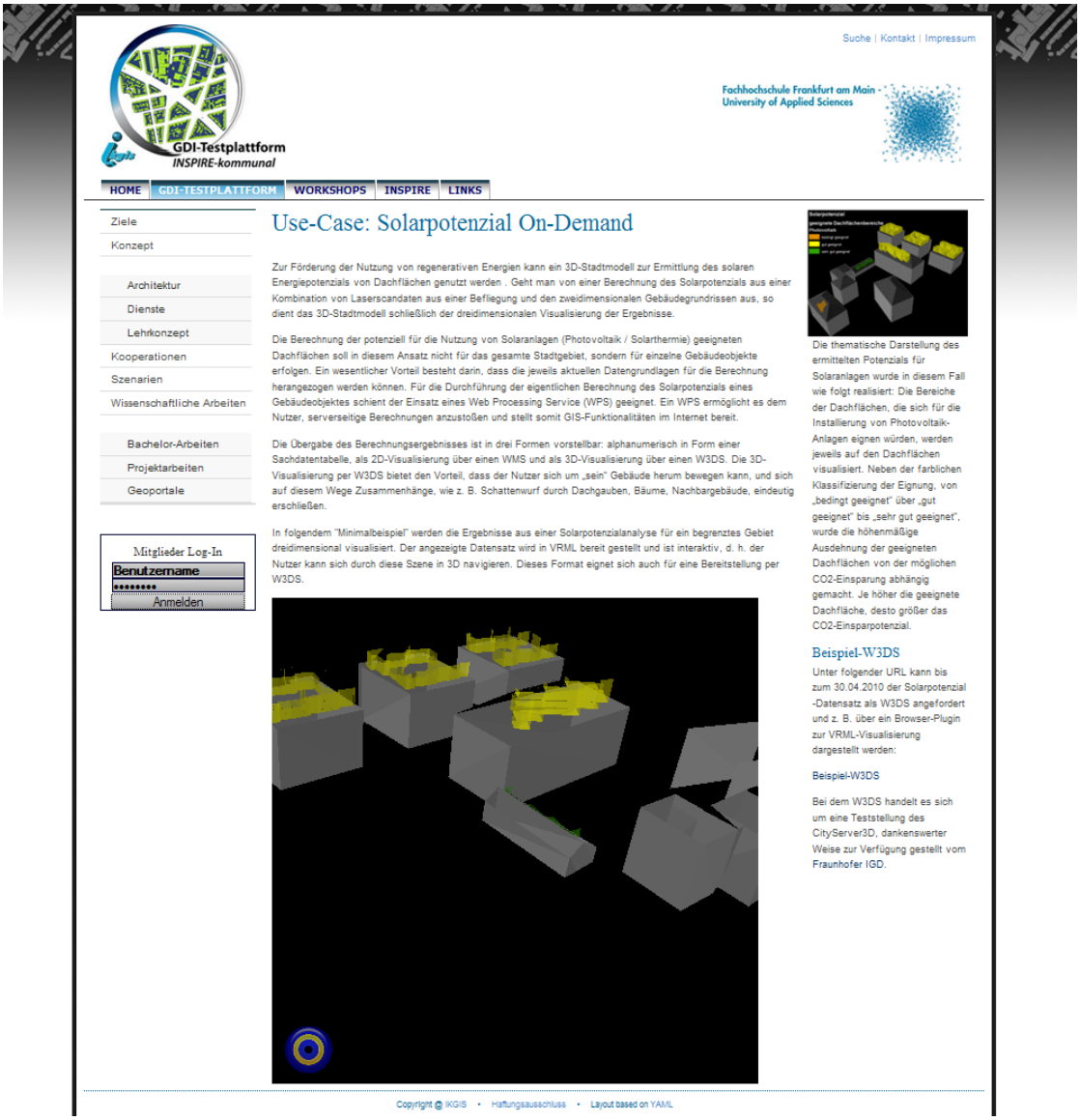

Abbildung 43: Integration in den Internetauftritt der GDI-Testplattform

[23] http://gdi-testplattform.de/index.php?id=3d

Neben der Realisierung des W3DS mit dem CityServer3D wurde auch das W3DS-Servlet der Firma CPA Systems GmbH, der SupportGIS W3DS, aufgesetzt. Über diesen ist es möglich, direkt auf die CityGML Datenhaltung zuzugreifen. Bei der Datenhaltung handelt es sich um eine PostgreSQL Datenbank mit PostGIS-Erweiterung, in die verschiedene Testdatensätze aus dem 3D-Stadtmodell Frankfurts im Format CityGML importiert wurden. Über den W3DS ist es nun möglich, die 3D-Daten als VRML ausgeben zu lassen und in einem passenden Client zu visualisieren.

Anzumerken bleibt, dass dieser Dienst momentan ausschließlich im Intranet der Fachhochschule Frankfurt ansprechbar ist.

5.3 Analyse der Ergebnisse

Das Konzept des Use-Case wurde im Zuge der Implementierung ausgearbeitet, so dass ein Testszenario entstand, welches die bisherige Dienste-Umgebung der GDI-Testplattform um die dritte Dimension erweitert. Der gesamte Use-Case besteht aus einer Reihe von Diensten, deren Verkettung im Sinne einer SOA einen echten Mehrwert-Dienst entstehen lässt.

Die eigentliche prototypische Umsetzung beschränkte sich auf den Teil der Visualisierung bzw. Bereitstellung der Visualisierung über einen Web 3D Service. Es konnte beispielhaft gezeigt werden, dass eine Bereitstellung einer dreidimensionalen Darstellung des Solarpotenzials per W3DS möglich ist. Zukünftig sollte die Bereitstellung der W3DS-Inhalte aus Datenhaltung heraus erfolgen, zum Einen, um auch in der 3D-Visualisierung die Aktualität des 3D-Stadtmodells liefern zu können und zum Anderen, um die Vorteile, die sich aus einer CityGML-konformen Datenhaltung ergeben, weitergeben zu können. Die für den W3DS optional vorzuhaltende Operation *GetFeatureInfo* ermöglicht z. B. die Sachdatenabfrage auf Feature-Ebene. Das heißt, dass der Nutzer in der Lage wäre, sich die Sachdaten aus der CityGML-Datenhaltung anzeigen zu lassen.

Über die prototypische Umsetzung der Visualisierungs-Komponente hinaus sind eine Reihe zukünftiger Aufgabenfelder aufgeworfen worden. Im Bereich des W3DS sind neben der angesprochenen Datenbankanbindung vor allem die Visualisierungsvorschriften als zukünftiger Schritt zu nennen. Eine ansprechende und eindeutige Visualisierung ist es schließlich, die aus den vorhandenen Informationen ein für den Nutzer leicht interpretierbares Werkzeug macht. Im Zuge eines 3D Symbology Encoding für den

W3DS könnten z. B. Legenden, die Positionierung und Darstellung der Solarpotenzialflächen, die Darstellung der Gebäude, sowie bestimmte Beleuchtungssituationen geschaffen werden. So sollte im Ergebnis der Solarpotenzialberechnung die Sonne scheinen. Darüber hinaus wären Bäume als Bestandteil der 3D-Szenen vorstellbar, besonders da diese wegen ihrem Schattenwurf Bestandteil der eigentlichen Berechnung sind.

Als zukünftiges Forschungsthema stellt sich die serverseitige Berechnung des Solarpotenzials und die Ansprache der Berechnung über einen Web Processing Service dar.

6 Fazit

Nachfolgend werden die wesentlichen Erkenntnisse, die aus der Bearbeitung dieser Master Thesis resultieren, zusammen gefasst und diskutiert. Das Kapitel und die Thesis schließt mit einem Ausblick auf zukünftige Entwicklungen im Bereich der 3D-Geodaten.

6.1 Zusammenfassung und Diskussion wesentlicher Erkenntnisse

Im Zuge der Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse aus der vorliegenden Master Thesis wird noch einmal die eingangs gestellte Forschungsfrage aufgegriffen:

Welche Anwendungsgebiete für die OGC-konforme Bereitstellung dreidimensionaler Geodaten gibt es aus kommunaler Sicht?

Die Beantwortung dieser Frage konnte im Zuge der Master Thesis vor einer Reihe von Hintergründen erreicht werden. Dabei standen nicht nur die möglichen Anwendungsgebiete sondern auch bestehende technische Standards und verwaltungsrechtliche Rahmenbedingungen im Fokus.

Dreidimensionale Geodaten werden heute

- auf verschiedenen Ebenen,
- in unterschiedlichen Formaten,
- zur Erfüllung einer Reihe von Aufgaben,
- die sich auch aus gesetzlichen Verpflichtungen heraus (unmittelbar oder mittelbar) ergeben,

vorgehalten. Über die vorhandenen Daten hinaus wird bereits an der Bereitstellung bundesweit einheitlicher 3D-Daten in Form eines LOD 1 Modells gearbeitet.

Unter anderem die Erfüllung von Pflichten, die sich aus der Europäischen Gesetzgebung bzw. Richtlinien ergeben, wird dazu führen, dass immer mehr Verwaltungsorganisationen der kommunalen Ebene 3D-Geodaten vorhalten. Ein interoperabler Austausch von Geodaten, wie er z. B. durch die INSPIRE-Direktive gefordert ist, lässt sich nur durch die Nutzung von Standards realisieren. Dabei spielen Standards sowohl bei der 3D-Geodaten-Haltung, der Bereitstellung und der Nutzung eine zentrale Rolle. Standardisierte Datenformate wie CityGML sind es, die einen interoperablen Austausch, eine dienstebasierte Verarbeitung und Bereitstellung ermöglichen. In der „Geo-Welt“ schei-

nen die durch das OGC veröffentlichten Spezifikationen das Mittel der Wahl zur Erreichung von Interoperabilität zu sein. Darüber hinaus sollten jedoch Entwicklungen aus anderen Industriezweigen nicht aus den Augen verloren oder gar ignoriert werden. Die Standardisierungsentwicklungen im Bereich der SOA, die durch verschiedene E-Government-Initiativen aufgegriffen werden, sind ein Beispiel für solche Entwicklungen.

Neben den etablierten Diensten des OGC, wie dem WMS oder dem WFS, die für den zweidimensionalen Bereich eingesetzt werden, finden sich im Bereich 3D aktuell vielversprechende Spezifikationsentwürfe. Während der W3DS (wenn auch noch nicht in allen Ausprägungen des aktuellen Spezifikationsentwurfs) bereits produktiv eingesetzt wird, ist vom WVS noch keine Referenzimplementierung frei verfügbar. Beide Darstellungsdienste verfolgen das Ziel einer performanten Echtzeitvisualisierung über das Internet. Der Fokus des W3DS liegt dabei auf der Interaktivität, die z. B. durch Navigationsfunktionen oder durch die Möglichkeit zur Integration von 3D-Daten aus verschiedenen Quellen gegeben ist. Ein WVS bietet zwar eine eingeschränkte Interaktivität, die grafischen Ansprüche liegen dennoch auf hohem Niveau, da das Rendern des Bildmaterials auf speziell für diese Aufgabe ausgelegten Servern geschehen soll. Der Client kann ein so genannter *Thin Client* sein, ohne speziellen Software- oder Hardware-Bedarf oder die Notwendigkeit besonderer Netzwerk-Bandbreiten. Somit eignet sich der WVS insbesondere für Anwendungen auf mobilen Clients. Die eigentliche Rechenlast liegt auch beim W3DS auf der Seite des Servers, wobei der Client hier das Rendern der Szenen übernehmen muss (*Medium Server – Medium Client* Prinzip). Im Unterschied zu den 3D-Darstellungsdiensten, bei denen sich die Interoperabilität aus Sicht des Nutzers auf der Ebene der Visualisierung abspielt, findet der interoperable Zugriff beim WFS auf Feature Ebene statt. Durch die Unterstützung von GML3 ermöglicht der WFS auch die Bereitstellung dreidimensionaler Daten, z. B. CityGML und ermöglicht so den Zugriff auf die „Rohdaten“ z. B. eines 3D-Stadtmodells. Die weitere Verarbeitung ist dann Aufgabe des Clients, der die über den WFS bereitgestellten Daten z. B. in einem Desktop-GIS weiter bearbeiten, analysieren und schließlich visualisieren kann.

Zu einer anwendungsbezogenen Auswahl einer geeigneten Bereitstellungsform gehört allerdings auch, über den Tellerrand der OGC Web Services hinaus zu schauen. Für eine performante Visualisierung hochdetaillierter 3D-Stadtmodelle kann auch eine proprietäre Lösung der richtige Weg sein. Die Visualisierung von hochdetaillierten Modellen, wie sie z. B. für Planungsvisualisierungen eines räumlich begrenzten Projekt-

Gebietes in Frage kommt, kann durch die Nutzung von Techniken aus der Spiele-Industrie enorm an Performanz gewinnen und somit wiederum noch höhere Detaillierungsgrade ermöglichen. Dennoch wird auch von Anbietern, die sich der Techniken aus der Spiele-Industrie bedienen, die Notwendigkeit von Standards und auch die Möglichkeiten, die in der Nutzung dieser Standards liegen, erkannt und z. B. CityGML unterstützt.

Zu Zwecken des Stadtmarketings wird derzeit für Frankfurt, auf Basis des vorhandenen LOD 2 Modells des Stadtvermessungsamtes, ein solch hochdetailliertes 3D-Stadtmodell durch die Firma *maila-push* erstellt. Das Modell soll im Ergebnis die gesamte Innenstadt Frankfurts abdecken und somit ein Gebiet von knapp 3km² umfassen. Neben diesem großen Modell könnte die Stadt Frankfurt bzw. das Stadtvermessungsamt auch über die Bereitstellung webbasierter 3D-Dienste die Außenwirkung des Frankfurter 3D-Modells erheblich erhöhen. Ein mögliches Anwendungs-Szenario konnte in dieser Master Thesis mit dem prototypisch realisierten Use-Case „Solarpotenzial On-Demand“ aufgezeigt werden. Eine Reihe weiterer vorstellbarer Use-Cases wurde beschrieben. Neben Diensten mit gezielter Außenwirkung könnten durch die Realisierung von 3D-Diensten, die verwaltungstintern genutzt werden, die Nachfrage durch das Angebot gesteigert werden. Auf diesem Wege, der potenziellen Nutzern das 3D-Stadtmodell näher bringt, könnten schließlich weitere Anwendungsfelder für 3D-Geodaten erschlossen werden. Ein zukünftiger Schritt könnte z. B. sein, direkt in der Ausschreibung neuer Planungen Entwürfe vom Architekten als VRML o. ä. anzufordern, um diese in das bestehende 3D-Stadtmodell einzupflegen und schließlich Planungsvarianten darstellen zu können.

6.2 Ausblick auf zukünftige Entwicklungen

Nicht zuletzt die frisch überarbeiteten Versionen der OGC-Spezifikationsentwürfe sprechen für die hohe Aktualität der webbasierten Bereitstellung von 3D-Geodaten. Dies wirft jedoch die Frage auf, inwiefern schon fertige Software-Lösungen am Markt vorhanden sind, die diesen oder einen früheren Stand der Spezifikationen umsetzen. Die Marktrecherche, die im Rahmen dieser Master Thesis durchgeführt wurde, hat gezeigt, dass der Markt besonders im Hinblick auf die Produkte zur Bereitstellung des W3DS noch übersichtlich ist. Die Rasanz der aktuellen Entwicklungen verspricht hier jedoch in nicht allzu ferner Zukunft weitere, marktreife Lösungen.

Kurz vor Fertigstellung der vorliegenden Master Thesis hat die GDI-DE ihren Absichten im Bezug auf das Thema 3D durch die Einrichtung eines Arbeitskreises Ausdruck verliehen. Ab sofort wird die Special Interest Group 3D (SIG 3D), die bisher Bestandteil der GDI NRW war, als Arbeitskreis Bestandteil der GDI-DE sein. Eine Reihe von Themen, die im Zuge der Master Thesis aufgegriffen wurden, sind die Schwerpunktthemen, mit denen sich der Arbeitskreis SIG 3D beschäftigen wird, wie z. B. ALKIS 3D, der Aufbau von INSPIRE und die 3D-Visualisierung[24]. Auch die Weiterentwicklung von CityGML steht auf der Agenda der SIG 3D. Neben der Entwicklung von CityGML-Erweiterungen für neue Anwendungsfelder werden sich zukünftig nicht nur technische sondern auch organisatorische Herausforderungen im Zusammenhang mit CityGML-konformen Modellen ergeben, z. B. bei der Einhaltung verschiedener Qualitätskriterien, die über die Strukturierung in verschiedenen LOD weit hinaus geht. Bezüglich der 3D-Visualisierung werden sich sicher durch die Berücksichtigung kartografischer Ansprüche im 3D Symbology Encoding eine Reihe erweiterter Darstellungsmöglichkeiten ergeben.

Das Ziel muss auch im Bereich der 3D-Geodaten lauten, Interoperabilität durch Standards zu schaffen und so den GDI-Gedanken in Richtung einer 3D-GDI weiter zu denken.

[24] http://www.gdi-de.org/de_neu/arbeitskreise/navl_sig3d.html, Stand: 30.03.2010

7 Literaturverzeichnis

Albert et al., 2003 Albert, J., Bachmann, D.M. & Hellmeier, D.A., 2003. Zielgruppen und Anwendungen für Digitale Stadtmodelle und Digitale Geländemodelle. Verfügbar unter: http://www.ikg.uni-bonn.de/fileadmin/sig3d/pdf/Tabelle_Anwendungen_Zielgruppen.pdf [Zugegriffen Januar 22, 2010].

Andrae, C., 2008. *OpenGIS essentials: Spatial Schema - ISO 19107 und ISO 19137 vorgestellt und erklärt* 1. Aufl., Wichmann Herbert.

ATKIS DGM - ATKIS®-Digitale Geländemodelle. Verfügbar unter: https://upd.adv-online.de/icc/extdeu/broker.jsp?uMen=05d50769-dad3-19fa-6d78-79f08a07b51a [Zugegriffen Dezember 12, 2009].

Bartelme, N., 2005. *Geoinformatik: Modelle, Strukturen, Funktionen* 4. Aufl., Springer, Berlin.

Bill, R., 1999a. *Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 1: Hardware, Software und Daten* 4. Aufl., Herbert Wichmann Verlag.

Bill, R., 1999b. *Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 2: Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen* 2. Aufl., Herbert Wichmann Verlag.

BMI, 2008. Bundesministerium des Innern, 2008. Standards und Architekturen für E-Government-Anwendungen (SAGA). Verfügbar unter: http://www.cio.bund.de/cae/servlet/contentblob/77116/publicationFile/3995/saga_4_0_download.pdf;jsessionid=A2BE5E5DC1C953E446950578D1A6C96A [Zugegriffen März 23, 2010].

CityGML-ADEs - Citygml. Verfügbar unter: http://www.citygmlwiki.org/index.php/CityGML-ADEs [Zugegriffen Januar 20, 2010].

Cortnona3D Viewer, Install for Windows. Verfügbar unter: http://www.cortona3d.com/install/win.php [Zugegriffen November 28, 2009].

Czerwinski, A., Plümer, L., 2008. Abschlussbericht zur Umsetzung der EU-Umgebungslärmkartierung Stufe 1 in Nordrhein-Westfalen. Herausgeber: Landesamt für Umwelt, Natur und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Verfügbar unter: http://www.umgebungslaerm.nrw.de/Dokumente/Berichte/Abschlussbericht_Kartierung_Stufe_1.pdf [Zugegriffen März 28, 2010].

Deutscher Städtetag, Google Earth und 3D - Stadtmodelle. Verfügbar unter: http://vir-nordwest.de/sixcms/media.php/13/e_rs_Google_3D.pdf [Zugegriffen März 27, 2010].

DOL, 2009. Deutschland-Online, 2009. Aktionsplan Deutschland-Online. Verfügbar unter: http://www.deutschland-online.de/DOL_Internet/binarywriterservlet?imgUid=382657e2-1196-5216-88d9-41ac0c2f214a&uBasVariant=22222222-2222-2222-2222-222222222222 [Zugegriffen März 19, 2010].

DOLa. Deutschland-Online, Vorhaben Geodaten, Teilprojekt: Vernetztes Bodenrichtwertinformationssystem (VBORIS). Verfügbar unter: http://www.deutschland-online.de/DOL_Internet/binarywriterservlet?imgUid=fed70206-4018-b911-4fbf-1b1ac0c2f214&uBasVariant=22222222-2222-2222-2222-222222222222 [Zugegriffen März 19, 2010].

DOLb. Deutschland-Online, Vorhaben Geodaten, Teilprojekt: XPlanung - Austauschstandard in der Bauleitplanung. Verfügbar unter: http://www.deutschland-online.de/DOL_Internet/binarywriterservlet?imgUid=aed70206-4018-b911-4fbf-1b1ac0c2f214&uBasVariant=22222222-2222-2222-2222-222222222222 [Zugegriffen März 19, 2010].

EuroDEM | Eurogeographics. Verfügbar unter: http://www.eurogeographics.org/content/products-services-eurodem [Zugegriffen Dezember 12, 2009].

GDI-DE Arbeitskreis „XPlanung“, 2007. Modellprojekt „XPlanung“ - Abschlussbericht - Ein Beitrag zum Aufbau der Geodateninfrastruktur in Deutschland. Verfügbar unter: http://www.gdi-de.org/de_neu/download/modellprojekte/GDI_DE_XPlanung.pdf [Zugegriffen März 23, 2010].

GDI-DE Arbeitskreis Architektur der GDI-DE, 2010. Architektur der Geodateninfrastruktur Deutschland, Version 2.0 (beta). Verfügbar unter: http://www.gdi-de.org/de_neu/download/AK/GDI-DE-Architekturkonzept-V2%28beta%29.pdf [Zugegriffen März 23, 2010].

GeoInfoDok Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV), 2009. Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens. Verfügbar unter: http://www.adv-online.de/icc/extdeu/binarywriterservlet?imgUid=8f830072-8de8-9221-d5ad-8f138a438ad1&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111 [Zugegriffen Februar 5, 2010].

Gröger et al., 2008 Gröger G., Kolbe, T. H., Czerwinski, A., Nagel, C., 2008. *OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*. Open Geospatial Consortium Inc. , OpenGIS® Encoding Standard, Reference number OGC 08-007r1

Hagedorn, B., 2010. *Web View Service Discussion Paper*. Open Geospatial Consortium Inc. , OpenGIS® Discussion Paper, Reference number OGC 09-166r2

HLBGa Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation, Produktkatalog Digitale Geobasisdaten, Heft 4. Verfügbar unter: http://www.hvbg.hessen.de/internethkvv/binarywriterservlet?imgUid=87a40143-7ca1-8121-c5ec-3f199dd57193&uBasVariant=22222222-2222-2222-2222-222222222222 [Zugegriffen Januar 9, 2010].

HLBGb Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation, Produktkatalog Luftbildprodukte, Heft 3. Verfügbar unter: http://www.hvbg.hessen.de/internethkvv/binarywriterservlet?imgUid=d7a40143-7ca1-8121-c5ec-3f199dd57193&uBasVariant=22222222-2222-2222-2222-222222222222 [Zugegriffen Februar 12, 2010].

HVBGa HVBG - Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation - Pressemitteilungen. Verfügbar unter: http://www.hvbg.hessen.de/internethkvv/broker.jsp?uMen=af750232-d18b-7201-3da9-0d94b80f348b&uTem=c4d708a3-3bef-aefb-e592-6fb47e9e59a5&uCon=8088835b-18c0-21c5-ec3f-199dd571935d [Zugegriffen Februar 13, 2010].

HVGG, 2010. *Gesetz zur Änderung des Hessischen Vermessungs- und Geoinformationsgesetzes und des Denkmalschutzgesetzes*, Verfügbar unter: http://www.gdi-de.org/de_neu/download/inspire_gesetze/Auszug_GVBl_Nr_04_vom_16032010.pdf [Zugegriffen März 23, 2010].

INSPIRE, 2007. DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION, 2007. *RICHTLINIE 2007/2/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES*, Verfügbar unter: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:108:0001:0014:DE:PDF [Zugegriffen März 23, 2010].

Köhler, G., 2010. Basisdaten für 3D-Geoinformation. Vortrag im Rahmen des 14. KGIS Workshop an der TU Darmstadt. Verfügbar unter: http://www.ikgis.de/fileadmin/user_upload/ikgis/Download/Workshop/Workshop_14/2_Koehler_Basisdaten_fuer_3D-Geoinformation.pdf [Zugegriffen März 5, 2010].

Kolbe, T. H., 2008. CityGML, KML und das Open Geospatial Consortium. In Tagungsband zum 13. Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme des Runder Tisch GIS e.V., Verfügbar unter: http://www.igg.tu-berlin.de/uploads/tx_ikgpublication/CityGML_und_KML_Kolbe2008.pdf [Zugegriffen Januar 8, 2010].

Korduan, P. & Zehner, M.L., 2008. *Geoinformation im Internet: Technologien zur Nutzung raumbezogener Informationen im WWW* 1. Aufl., Wichmann.

Melzer, I., 2008. *Service-orientierte Architekturen mit Web Services: Konzepte - Standards - Praxis* 3. Aufl., Spektrum Akademischer Verlag.

Neubauer, S., Zipf, A., 2009. *3D-Symbology Encoding Discussion Draft*. Open Geospatial Consortium Inc. , OpenGIS® Discussion Paper, Reference number OGC 09-042

Over M. et al., 2009. Virtuelle 3D Stadt- und Landschaftsmodelle auf Basis freier Geodaten. In: Strobl, J., 2009. *Angewandte Geoinformatik 2009: Beiträge zum 21. AGIT-Symposium Salzburg* 1. Aufl., Wichmann Herbert.

OGC® Approves KML as Open Standard | OGC®. Verfügbar unter: http://www.opengeospatial.org/pressroom/pressreleases/857 [Zugegriffen Januar 9, 2010].

OpenStreetMap 3D Germany - OSM-3D on GDI-3D. Verfügbar unter: http://www.osm-3d.org/ [Zugegriffen Dezember 12, 2009].

Planar 3D : Stereoscopic Display Technology. Verfügbar unter: http://www.planar3d.com/3d-technology/stereoscopic-101/ [Zugegriffen Februar 13, 2010].

Schilling, A., Kolbe, T. H., 2010. *Draft for Candidate OpenGIS® Web 3D Service Interface Standard*. Open Geospatial Consortium Inc. , OpenGIS® Discussion Paper, Reference number OGC 09-104r1

Städtetag NRW Städtetag Nordrhein-Westfalen, 2004. 3D-Stadtmodelle - Eine Orientierungshilfe. Verfügbar unter: http://www.bocholt.de/intabox/medienarchive/fb31/3d-stadtmodelle_staedtetag_nrw.pdf [Zugegriffen Februar 12, 2010].

Vretanos, P. A., 2005. *Web Feature Service Implementation Specification*. Open Geospatial Consortium Inc. , OpenGIS® Implementation Specification, Reference number OGC 04-094

Wilson, T., 2008. *OGC® KML*. Open Geospatial Consortium Inc. , OGC® Standard, Reference number OGC 07-147r2

Whiteside, A., Evans, J. D., 2008. *Web Coverage Service (WCS) Implementation Standard*. OGC® Implementation Standard, Reference number OGC 07-067r5

Anhang A: Bewertungsmatrix 3D-Werkzeuge

	Google Earth	Bing Maps 3D	NASA Worldwind	Cortona3D Viewer	BS Contact Geo	AristotelesViewer-GML 3D	LandXplorer CityGML Viewer	XNavigator	SupportGISJ-3D	CityServer3D	LandXplorer Studio Professional / Server
Hersteller	Google Inc	Microsoft	NASA	Parallel Graphics	Bitmanagement Software GmbH	igg, Universität Bonn	Autodesk	Lehrstuhl Geoinformatik, Geographisches Institut, Universität Heidelberg	CPA Systems GmbH	Fraunhofer IGD	Autodesk
Kategorie	Digitaler Globus	Digitaler Globus	Digitaler Globus	3D-Viewer	3D-Viewer	3D-Viewer	3D-Viewer	3D-Viewer	3D-Client-Server-System	3D-Client-Server-System	3D-Client-Server-System
Version	5.0.1	4.0	1.4	6.0	7.2.12	1.3.01	2009a	1.1.8	SGJ Version 100327	Version 2.1.2 (CityServer 3D AdminTool)	2009 / 2010
Plattform	Windows 2000 oder XP und höher	Windows XP SP2 und höher	Windows 2000, 2003, XP, Vista und 7	Windows	Windows 98 SE, Me, 2000, XP und Vista	k. A.	k. A.	Windows (32 / 64 bit), Linux, Mac OS X	Microsoft Windows, Linux	Windows, Linux sowie Mac OS u. a.	Microsoft Windows Vista Business, Ultimate und Enterprise, XP Professional / Windows Server 2003 / 2008
Webbrowser	x	Internet Explorer 6 und höher, Mozilla Firefox und höher, Safari 3.1 und höher	x	Internet Explorer, Netscape Browser, Mozilla, Firefox, Google Chrome	Internet Explorer, Firefox und Opera	x	x	x	x	x	x
Importschnittstellen	KML / KMZ, COLLADA	KML	KML	VRML	VRML 2.0, X3D, COLLADA, JT, PLM XML, CityGML,	CityGML, GML	CityGML	VRML	EDBS, DXF(2D, 3D), Shapefile (2D, 3D), NAS, CityGML, KML/KMZ, GML, VRML, 3DS	CityGML, Shapefile, DGM, KML, COLLADA, X3D, VRML, Waypoint+, Garmin File u. a.	CityGML, X3D, FDO, Shapefile, 3DS, OBJ, COLLADA, STL/STB, Arc/Info ASCII Grid/Grid Export, ERDAS IMAGINE, ECW, JPEG, PNG, LDX/VRS, BMP
Bildformate	BMP, DDS, GIF, JPG, PGM, PNG, PPM, TGA, TIFF	k. A.	BMP, DDS, DIB, HDR, JPG, PFM, PNG, PPM, TGA	x	BMP, DIB, CUR, ICO, JPG, JPEG, GIF, PNG, TGA, DDS, JP2, J2K, PPM, JPS, PNS, BMS, GIS, TIF, TIFF	x	x	k. A.	JPG, PNG, TIFF, GeoTIFF, GIF, BMP, EMF+		TIF, IMG, ECW, JPEG, MrSID, PNG
Datenbankanbindung	x	x	x	x	x	x	x	k. A.	Oracle, PostgreSQL	Oracle, MySQL, PostGIS u. a.	k. A.
Schnittstellen Web-Dienste	WMS	k. A.	WMS, WFS	x	x	WFS	x	WMS, OpenLS, CSW, WFS, W3DS	WMS, WCS, WFS, W3DS	WMS, WFS, W3DS	WFS
Exportschnittstellen	KML / KMZ	KML	k. A.	x	VRML2.0, X3D, AVI	k. A.	CityGML	x	CityGML, 3DXF, U3D, VRML, Shape3D, KML/KMZ, 3DPDF	CityGML, Shapefile, DGM, KML, COLLADA, X3D, VRML, Waypoint+, Garmin File u. a.	KML, AVI
Lizenzmodell	Freeware	Freeware	Open Source	Freeware	Demo-Version (voll funktionsfähig, Wasserzeichen) für priv. Nutzung, ansonsten kommerziell	Open Source	Freeware	Forschungsprojekt	kommerziell (für Hochschulumfeld frei)	Forschungsprojekt / kommerziell	kommerziell
Dokumentation	Hilfe / Online Nutzerhandbuch	x	Entwickler- / Nutzer-Foren	Online Nutzerhandbuch	Online Nutzerhandbuch	Wiki	x	Wiki	Hilfe	Handbuch	Hilfe
Web-Präsenz	http://earth.google.de	www.bing.com/maps/	http://worldwind.arc.nasa.gov/java/	http://www.cortona3d.com	http://www.bitmanagement.com/de/products/interactive-3d-clients/bs-contact-geo	http://www.ikg.uni-bonn.de/aristoteles/index.php/Aristoteles	http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=12561246&siteID=123112	http://www.giub.uni-bonn.de/karto/xnaviwiki/doku.php	http://www.cpa-systems.de/	http://www.cityserver3d.de	http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=12561246&siteID=123112
Funktionalitäten	Visualisierung (3D-Navigation), W3DS-Client	Visualisierung (3D-Navigation), W3DS-Client	Visualisierung (3D-Navigation)	Visualisierung (3D-Navigation), W3DS-Client	Visualisierung (3D-Navigation), W3DS-Client	Visualisierung (3D-Navigation), Sachdatenabfrage, Editieren	Visualisierung (3D-Navigation), Sachdatenabfrage, Editieren	Visualisierung (3D-Navigation), Sachdatenabfrage, W3DS-Client	Speicherung, Visualisierung, Verarbeitung	Speicherung, Visualisierung, Verarbeitung	Speicherung, Visualisierung, Verarbeitung