



Bachelorthesis

Thema:

Evaluierung von Datengrundlagen und Werkzeugen zur Web-basierten 3D- Visualisierung sowie pilothafte Umsetzung am Beispiel eines Anwendungsfalles der Grundwasserdatenbank Baden-Württemberg

von
Susan Hacker

Matrikelnummer: 26248
Juli 2011

Bachelorthesis

für Frau Susan Hacker

Thema: Evaluierung von Datengrundlagen und Werkzeugen zur Web-basierten 3D-Visualisierung sowie pilothafte Umsetzung am Beispiel eines Anwendungsfalles der Grundwasserdatenbank Baden-Württemberg

Im Rahmen der Arbeiten zum Umweltinformationssystem Baden-Württemberg (UIS BW) werden bei der Landesanstalt für Umweltschutz, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) Geodaten aus allen Umweltmedien zusammengeführt und Fachanwendern sowie Bürgern zur Verfügung gestellt. Eine abgestimmte Nutzung sowie die langfristige Sicherstellung der Investitionen in die Software werden durch die Verwendung einheitlicher Standards und Formate gewährleistet. Neben der verständlichen Präsentation von Umweltsachverhalten im Internet, bietet das UIS BW mit seiner Fachkomponente WIBAS (Informationssystem Wasser, Immissionsschutz, Boden, Abfall, Arbeitsschutz) die Möglichkeit, unterschiedlichste Umweltdaten zu erfassen, zu pflegen und auszuwerten. Das WIBAS-Fachmodul Grundwasserdatenbank (GWDB) ermöglicht es den Anwendern bei der LUBW und den beteiligten Dienststellen, die aus den Grundwassermessungen erhobenen Daten qualitativ und quantitativ auszuwerten und für verschiedene Zielsetzungen hin zu interpretieren. Bei den unteren Verwaltungsbehörden muss vor allem der Grundwasserspiegel häufig auf seine Grundwasserstandshöhe und sein mögliches Heranreichen an existierende und geplante Gebäude untersucht werden. Für diese Überprüfung wird bislang als Erweiterung zum Geoinformationssystem „GIStern“ von der Firma disy die Funktion „GeoPro3D“ verwendet, um dem Anwender eine dreidimensionale Darstellung des zu untersuchenden Raumes zu ermöglichen. GeoPro3D ist eine Weiterentwicklung aus einem Forschungsprojekt und ist als komplett eigenentwickeltes Produkt sehr pflegeaufwändig. Zur Reduzierung des laufenden Aufwands und einfacher Integration weiterer Anwendungsfälle sollen möglichst viele der fachlichen Anforderungen deshalb mit Standardbibliotheken aus dem 3D-Bereich abgedeckt werden.

Im Rahmen der Bachelorthesis soll eine geeignete Architektur mit 3D-Viewer gefunden werden, die die Möglichkeit zur dreidimensionalen Präsentation des Geländes einschließlich der Topographie bietet. Über möglichst standardisierte Schnittstellen sollen in Kombination dazu auch der Grundwasserflurabstand sowie ein ausgewähltes Gebäude über Web-Technik in einem Browser bereitgestellt werden können.

In einer ersten Phase müssen hierfür die zu verwendenden Datentypen, Datenformate und Austauschprozesse definiert und verfügbare 3D-Viewer für die Darstellung dreidimensionaler Daten identifiziert werden. In der anschließenden Untersuchungsphase müssen geeignete 3D-Viewer auf ihre konkreten Funktionalitäten und Schnittstellen im Serverbereich und auch die Verfügbarkeit, sowie die Anwendbarkeit der Visualisierungsfunktionen für den Benutzer im Klienten analysiert werden.

Als Ergebnis der Arbeit soll anhand eines Prototypen gezeigt werden, ob und wie sich die fachlichen und technische Anforderungen mit dem Konzept und den ausgewählten Werkzeugen umsetzen lassen. Im Rahmen einer Bewertung an einem konkreten Testgebiet soll der erreichte Stand überprüft und ggf. weitere Verbesserungsvorschläge für eine anzustrebende Zielarchitektur diskutiert werden.

Ein entsprechender Arbeitsplatz für die Bearbeitung der Bachelorthesis steht an der LUBW in Karlsruhe zur Verfügung.

Bearbeitungszeit: 3 Monate

Ausgabedatum:

Abgabedatum:.....

.....

(Prof. Dr.-Ing. G. Schweinfurth)

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich für die Betreuung dieser Arbeit von der Hochschulseite durch Herrn Prof. Dr.-Ing. Gerhard Schweinfurth bedanken.

Ein großer Dank geht ebenfalls an die LUBW, ohne die ich die Möglichkeit, diese Bachelorarbeit zu erstellen, nicht gehabt hätte. Dabei möchte ich meinen Betreuern Herrn Manfred Müller und Herrn Bastian Ellmenreich vom Informationstechnischen Zentrum und allen weiteren Mitarbeitern besonders danken, dass sie immer ein offenes Ohr für mich hatten und mir bei Fragen und Problemen zur Seite standen. Zudem geht ein Dank an Herrn Thomas Hauenstein (Projektleiter des 3D-Stadtmodells Karlsruhe), Herrn Dieter Schuhmann (LUBW, Abteilung Wasser), Herrn Jörg Halbach (3D-Stadtmodell Stadtmessungsamt Stuttgart) und Herrn Manfred Gültlinger (LGL Stuttgart), die sich Zeit für meine Fragen genommen und mir durch ihre Auskünfte während der Bearbeitung wesentlich weitergeholfen haben. Herrn Erich Mattes (Fa. AHK) ist zu danken, dass ich beim ESRI Kongress 2011 in München dabei sein und dort am 3D-Workshop teilnehmen konnte.

ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, die Bachelorthesis selbständig und lediglich unter Benutzung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst zu haben.

Karlsruhe, den 22. Juli 2011

.....

Susan Hacker

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung.....	1
1.1. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg	2
1.2. Grundwasserdatenbank und GIS-GeoPro3D	2
1.3. Aufgabenstellung/ Zielsetzung.....	4
2. Begriffsklärung	6
2.1. 3D-Visualisierung.....	6
2.2. Digitales Geländemodell und Unterscheidung zum Digitalen Höhenmodell.....	7
3. Datentypenstrukturen zur Analyse und Visualisierung dreidimensionaler Räume	9
3.1. 3D-Feature-Daten	9
3.1.1. 3D-Features	9
3.1.2. Multipatch-Features	12
3.2. Oberflächendaten	13
3.2.1. Raster-Oberflächen.....	13
3.2.2. TIN-Oberflächen.....	15
3.2.3. Terrain-Oberflächen	17
3.3. Vergleichsanalyse.....	21
3.3.1. Tabellarische Gegenüberstellung	21
3.3.2. Bewertung	23
3.3.3. Schwächenanalyse	24
4. Datenformate zur Datenübertragung dreidimensionaler Szenen und Objekte.....	26
4.1. VRML und GeoVRML	26
4.2. X3D.....	27
4.3. KML	28
4.4. CityGML.....	29
4.5. 3D PDF	29
4.6. Shockwave 3D.....	30
4.7. Vergleichsanalyse.....	32
4.7.1. Tabellarische Gegenüberstellung	32
4.7.2. Bewertung	34
4.7.3. Schwächenanalyse	34
5. Anwendungen zur 3D-Visualisierung	39
5.1. Google Earth.....	40
5.2. Microsoft Bing Maps 3D/ Virtual Earth 3D	41
5.3. ArcGIS-Produkte.....	42
5.3.1. 3D-Analyst.....	43

5.3.2. Gegenüberstellung von ArcScene und ArcGlobe	43
5.3.3. ArcGIS Explorer	44
5.4. XNavigator	45
5.5. NASA World Wind	46
5.6. CityViewer.....	48
5.7. Adobe Reader.....	51
5.8. Vergleichsanalyse.....	54
5.8.1. Tabellarische Gegenüberstellung	54
5.8.2. Bewertung	56
5.8.3. Schwächenanalyse	56
6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl	58
6.1. Erforderliche Ausgangsdaten	58
6.1.1. Herkunft der Geländedaten.....	58
6.1.2. Herkunft der Grundwasserdaten	59
6.1.3. Herkunft und Erstellung der Gebäudedaten.....	61
6.1.4. Grundlegender Workflow	62
6.1.5. Aufgetretene Schwierigkeiten mit den Grundlagendaten.....	63
6.2. Variante 3D-PDF	64
6.2.1. Möglichkeiten beim Datenimport.....	64
6.2.2. 3D-PDF-Erstellung mit der FME-Schnittstelle.....	65
6.2.3. Darstellung im 3D-PDF	68
6.2.4. Einbindung in den Workflow.....	69
6.2.5. Aufgetretene Schwierigkeiten bei der Erstellung vom 3D-PDF	69
6.3. Variante Globe-Service.....	78
6.3.1. Datenbereitstellung über einen 3D-Globe-Service.....	78
6.3.2. Datenstrukturen und Datenimport in ArcGIS Explorer	80
6.3.3. Veröffentlichung als Globe-Service und Import in ArcGIS Explorer	80
6.3.4. Einbindung in den Workflow.....	82
6.3.5. Aufgetretene Schwierigkeiten mit Globe-Service und ArcGIS Explorer	83
7. Perspektive.....	88
7.1. Bezug der Datengrundlagen.....	88
7.2. Dienstveröffentlichung über Web 3D Service	89
7.3. Möglichkeit der Verwendung von Analysefunktionen im ArcGIS Explorer	91
8. Schlussbetrachtung.....	95
Literaturverzeichnis	97

Tabellenverzeichnis.....	100
Abbildungsverzeichnis.....	101
Abkürzungsverzeichnis	103
Anhang.....	A

1. EINLEITUNG

Raumbezogene Sachverhalte werden heutzutage im großen Maße dreidimensional dargestellt. Ob in Film oder Fernsehen, überall trifft man auf die dritte Dimension, um dem Betrachter einen realistischeren Eindruck der dargestellten Situation zu verschaffen. Der Betrachter soll in die dreidimensionale Welt eintauchen und so bestimmte Zusammenhänge, Prozesse oder Planungen besser verstehen. Gleichzeitig sorgt der 3D-Effekt für zusätzliches Interesse, Aufmerksamkeit und fördert das Verständnis für komplizierter Zusammenhänge, wie beispielsweise medizinische oder technische Sachverhalte. Auch im Internet kursieren mittlerweile unzählig viele 3D-Anwendungen, wie Szenen oder Animationen. Dabei werden Szenenbilder über leistungsstarke Prozessoren und Graphikkarten in Echtzeit in 3D berechnet und im Web-Browser für Nutzer jeglicher Art zur Verfügung gestellt. Zudem werden Web-basierte Geovisualisierungen immer öfter durch Web-Dienste verwirklicht.

Die aktuellen Entwicklungen stehen auch im Zusammenhang mit dieser Bachelorarbeit. Diese behandelt 3D-Visualisierung im Web, bezogen auf eine Fachanwendung im Bereich der Grundwasserdatenbank Baden-Württemberg. Auch hier sollen 3D-Geodaten für eine optimale und klare Präsentation der Sachverhalte dienen.

Zum Überblick wird zunächst auf die Landesanstalt für Umweltschutz, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) und ihre Aufgaben eingegangen, die speziell im Themenfeld des Umweltinformationssystems (UIS) an der LUBW betrachtet werden. Zudem sollen die Hintergründe für die Motivation zur Evaluierung von Datengrundlagen und Werkzeugen für eine geeignete Web-basierte 3D-Visualisierung dargelegt werden, bevor die grundlegende Aufgabenstellung und Zielsetzung erläutert werden kann. Anschließend werden die möglichen Datentypen sowie Datenformate für eine optimale Datenübertragung und potenzielle 3D-Anwendungen aufgezeigt. Eine pilothafte Umsetzung einer Anwendung der Grundwasserdatenbank Baden-Württemberg auf Grundlage der innerhalb dieser Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse schließt die Arbeit ab.

1. Einleitung

1.1. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

Als Anstalt des öffentlichen Rechts, mit Hauptsitz in Karlsruhe, beschäftigt sich die Landesanstalt für Umweltschutz, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg mit Aufgaben des Umwelt- sowie des Arbeits- und Verbraucherschutzes. Daten über Luft-, Wasser- und Bodenzustände und Radioaktivität, werden dabei aus unterschiedlichen landesweiten Messnetzen bezogen. Außerdem werden Messungen über Lärm und elektromagnetische Felder, ebenso wie Umweltproben zur Analyse chemischer, radiologischer oder biologischer Zusammensetzungen durchgeführt. Die Auswertung dieser Messungen liefert Aufschluss über die momentanen landschaftlichen Veränderungen und den aktuellen Zustand der Flora und Fauna. Messergebnisse werden von Experten der LUBW „fachübergreifend und überregional“¹ ausgewertet und die eigens entwickelten Datenverarbeitungsverfahren für die LUBW selbst, Verwaltungen, Unternehmen oder Interessierten im Internet zugänglich gemacht. Weiterhin werden permanent Zustandsberichte der Umwelt in Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr veröffentlicht.

1.2. Grundwasserdatenbank und GIStern GeoPro3D

Über das landesweite Umweltinformationssystem Baden-Württemberg (UIS BW) können Themen aus allen Umweltbereichen zusammengeführt und Fachanwendern sowie Bürgern zugänglich und nutzbar gemacht werden. Nach Bill ist ein UIS ein „erweitertes GIS, das der Erfassung, Speicherung, Verarbeitung und Präsentation von raum-, zeit- und inhaltsbezogenen Daten zur Beschreibung des Zustands der Umwelt hinsichtlich Belastungen und Gefährdungen dient“². Eine abgestimmte Nutzung sowie die langfristige Sicherstellung der Investitionen in die Software werden durch die Verwendung einheitlicher Standards und Formate gewährleistet. Ziele eines UIS sind die Umweltvorsorge zu unterstützen, Umweltschäden zu sanieren und auf Umweltunfälle zu reagieren. Das UIS BW ist in drei Hauptkategorien untergliedert: Basiskomponenten (Verwendung der Daten, Methoden oder Infrastrukturen im UIS), Fachkomponenten (Hauptbestandteil des UIS mit Bereichen zu Wasser, Boden, Luft und Radioaktivität) und übergreifende Komponenten (Zusammenführung und fachübergreifende Darstellung von Daten aus unterschiedlichen Umwelt- und Zuständigkeitsbereichen). Diese greifen insbesondere in den von mehreren Systemen genutzten Diensten und Programmbestandteilen inhaltlich und technisch vielseitig ineinander. Bill erwähnt die Anordnung der Hauptbestandteile in einem Pyramidenmodell. In diesem sind "Planungs- und Integrationssystem wie UFIS (Umweltführungsinformationssystem), RIPS (Räumliches Informations- und

¹ <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/31656/>

² Bill, 2010, S.48

1. Einleitung

Planungssystem), WIBAS (Wasser, Immissionsschutz, Boden, Abfall, Arbeitsschutz) und NaIS (Naturschutz-Informationssystem)³ und zahlreiche weitere Fachinformationssysteme enthalten.

Neben der verständlichen Präsentation von Umweltsachverhalten im Internet, bietet das UIS BW in der Fachkomponente WIBAS „Fachanwendungen zur Erfassung, Pflege und Auswertung von Daten verschiedener Umweltmedien“⁴ an. Im Rahmen des WIBAS-Projekts wird die Grundwasserdatenbank (GWDB) als Fachinformationssystem verwendet. Diese ermöglicht es der LUBW selbst, sowie den beteiligten Dienststellen (Regierungspräsidien, unteren Verwaltungsbehörden und Abfallwirtschaftsbetrieben) die aus Grundwassermessungen resultierenden Daten in Qualität und Quantität zu erfassen, zu erhalten, auszuwerten und sie für diverse Zielsetzungen interpretierbar zu machen. Solche Daten können beispielsweise Daten über Grundwasserstände, Quellschüttungen, Niederschlagsmengen oder Stammdaten zu Messstellen sein. Es ist zudem möglich über den Diagrammdienst der GWDB Zeitreihendarstellungen sowie Darstellungen statistischer Werte und anderen graphischen Auswertungen zu erstellen.

In den unteren Verwaltungsbehörden muss der Grundwasserspiegel häufig auf seine Grundwasserstandshöhe und sein mögliches Heranreichen an existierende und geplante Gebäude untersucht werden. Dies ist relevant, da es beispielsweise zu eventuellen „Auftriebsproblemen“ oder „Kellervernässungen“⁵ kommen könnte. Für diese Überprüfung wird bislang in der Erweiterung zum Geoinformationssystem *GISterm* von der Firma disy die Funktion *GeoPro3D* verwendet. Mit diesem Werkzeug wird dem Anwender eine dreidimensionale Darstellung des zu untersuchenden Gebäudes, geologischer Schichten und der Grundwasserstände (minimale, mittlere und maximale) ermöglicht (Abb. 1). *GeoPro3D* ist eine Weiterentwicklung aus einem Forschungsprojekt und ist als komplett eigenentwickeltes Produkt sehr pflegeaufwändig.

³ Bill, 2010, S.651

⁴ Schuhmann,2010, S.9

⁵ Schuhmann,2010, S. 318

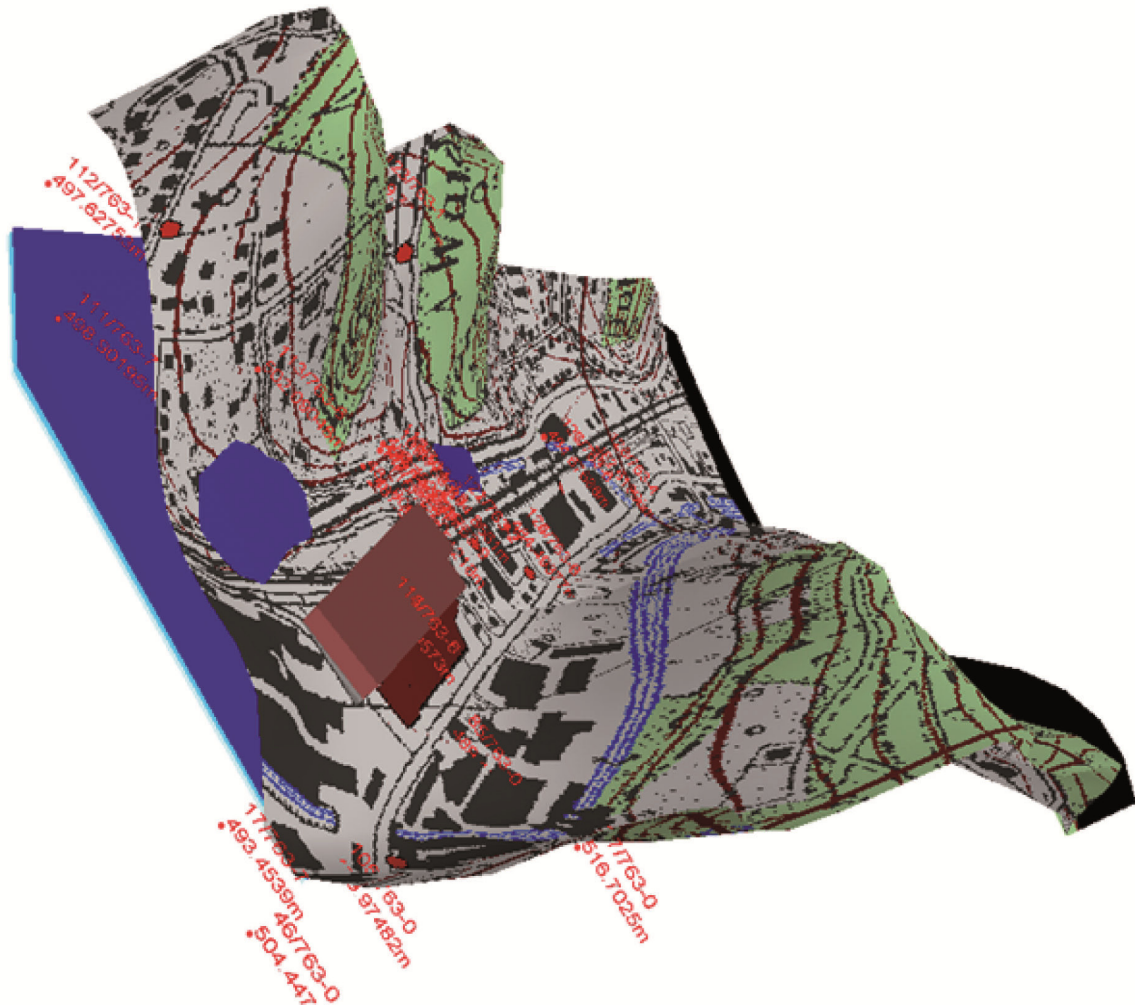


Abbildung 1: 3D-Ansicht in GeoPro3D⁶

Zur Reduzierung des laufenden Aufwands und einer einfachen Integration weiterer Anwendungsfälle sollen deshalb möglichst viele der fachlichen Anforderungen mit Standardbibliotheken aus dem 3D-Bereich abgedeckt werden. Zudem wird die Funktion zur 3D-Darstellung landesweit nur von wenigen Nutzern kontinuierlich verwendet, sodass die anfallenden Kosten die verfügbaren Mittel übersteigen. Daher soll der *GeoPro3D*-Dienst ab 2011 nicht mehr fortgeführt werden und somit wegfallen.

1.3. Aufgabenstellung/ Zielsetzung

Ausgehend von dem Verzicht des GIS-Tools *GeoPro3D* soll ein neuer 3D-Viewer gefunden werden, der die Möglichkeit bietet, die dreidimensionale Darstellung der Grundwasserdaten, eines Gebäudes sowie des Geländes weiterhin für die beteiligten

⁶ Quelle Bild: Schuhmann, 2010, S. 321

1. Einleitung

Dienststellen bereitzustellen. Über möglichst standardisierte Schnittstellen soll die 3D-Szene über Web-Technik in einem Browser abgebildet werden.

Hierbei wird vorerst von bereits vorhandenen Datenebenen (Gebäude, Gelände, Grundwasserstand) ausgegangen. Es müssen die zu verwendenden Datentypen, Datenformate und Austauschprozesse untersucht und definiert sowie verfügbare 3D-Viewer für die Darstellung dreidimensionaler Daten identifiziert werden. In der anschließenden Untersuchungsphase müssen die geeigneten 3D-Viewer auf ihre konkreten Funktionalitäten und Schnittstellen im Serverbereich und auch die Verfügbarkeit, sowie die Anwendbarkeit der Visualisierungsfunktionen für den Benutzer im Client analysiert werden. Anhand des Testgebiets Kaiserstuhl sollen die möglichen Viewer getestet, untersucht und verglichen werden. Letztlich soll ein entsprechender 3D-Viewer gefunden werden, der den Anforderungen einer geeigneten Darstellung der geforderten Informationen entspricht und möglichst ohne größeren Aufwand und lizenzrechtliche Absicherungen den Nutzern der unteren Verwaltungsbehörden zur Verfügung gestellt werden kann.

Ziel der Arbeit ist somit das Identifizieren der fachlichen und technischen Anforderungen sowie der Möglichkeiten benötigter Werkzeuge für eine Umsetzung einer geeigneten Architektur mit 3D-Viewer zur dreidimensionalen Präsentation des Geländes einschließlich der Topographie. Dabei sollen, anhand der Untersuchungen und Ergebnisse am Testgebiet, Vergleiche und Bewertungen vorgenommen werden.

2. BEGRIFFSKLÄRUNG

Für ein besseres Verständnis des Begriffs 3D-Visualisierung soll dieser im Folgenden näher definiert werden. Außerdem werden die Bezeichnungen Digitales Geländemodell und Digitales Höhenmodell voneinander abgegrenzt.

2.1. 3D-Visualisierung

Nach Bollmann & Koch ist die 3D-Visualisierung ein „Sammelbegriff für die Darstellung bzw. Veranschaulichung von Gegebenheiten der dreidimensionalen Welt oder von 3D-Werte-Verteilungen mittels zweidimensionaler Medien“⁷. Die dreidimensionale Visualisierung beinhaltet Reliefmodelle, Kartenreliefs oder Globen, nicht jedoch die kartenverwandten Darstellungen. Es gibt die Unterscheidung in der Darstellung der digitalen Daten auf dem Bildschirm (Softcopies) und auf Hartkopien (Hardcopies). In beiden Varianten gibt es die Möglichkeit der Pseudo-Dreidimensionalität, bei der auf einem zweidimensionalen Medium eine 3D-Szene abgebildet wird. Für die dreidimensionale Darstellung auf dem Bildschirm stehen „anerkannte Algorithmen“⁸ zur Verfügung. Diese stellen jedoch hohe Anforderungen an den Rechner, da große Datenmengen und komplexe Berechnungen diese zusätzlich beeinträchtigen können. „Funktionalitäten wie Viewtransformationen, 3D-Clipping, Farbschattierung, Verdeckung [...] Beleuchtungsmodelle [...], Volumendarstellung [...] oder orthographische Visualisierung“⁹ stehen hierfür zur Verfügung. Darüber hinaus können dreidimensionale Darstellungen mit Hilfe der klassischen Stereoskopie, der Chromostereoskopie oder über Lentikular-Linsenraster realisiert werden.

Bei der dreidimensionalen Darstellung am Computer existieren fünf Darstellungsformen: Parametrisierte Darstellung (Charakterisierung der Objektelemente durch genaue Parameteranzahl), Enumerationsverfahren (Beschreibung eines dreidimensionalen Objekts durch gleichförmige Raumzellen), Zellenzerlegung (Zusammensetzung von Objekten aus einfachen Bausteinen), Randdarstellung (Beschreibung eines räumlichen Objekts durch seine Randelemente) und Konstruktion mit Raumprimitiven (Definition eines räumlichen Objekts durch „mengentheoretische Kombination von Standardprimitiven oder Halbräumen“¹⁰).

Bei Pomaska¹¹ wird auf die Window-on-World (WoW)-Systeme hingewiesen, welche Systeme zur dreidimensionalen Darstellung auf einer 2D-Projektionsfläche bezeichnen.

⁷ Bollmann, Koch, 2001, S.170

⁸ Bill, 2010, S.590

⁹ Bill, 2010, S.590

¹⁰ Bill, 2010, S.356

¹¹ Pomaska, 2007

2. Begriffsklärung

Nach Däßler & Palm sind diese Systeme „Fenster in die virtuelle Welt“¹² und gleichzusetzen mit Desktop Virtual Reality (VR). Eine Definition bei Däßler und Palm zur Virtuellen Realität beschreibt diese als „eine Möglichkeit für Menschen, mit dem Computer zu kommunizieren und komplexe Daten zu visualisieren und zu manipulieren“¹³. WoWs sind hier als Typ von Virtual Realities aufgezählt. Weiterhin werden Immersive Systeme (Head Mounted Device mit Bildschirmen zur 3D-Darstellung) und Stereoskopische Sichtsysteme, für die Shutterbrillen o.ä. verwendet werden müssen, aufgelistet.

2.2. Digitales Geländemodell und Unterscheidung zum Digitalen Höhenmodell

Bei der digitalen Geländemodellierung wird aus „zusammenhängenden Ausschnitten der Geländeoberfläche“¹⁴ ein digitales Modell mittels computergestützten Berechnungsmethoden erzeugt. Als Berechnungsgrundlage dient das gemessene Digitale Geländemodell (DGM) mit seinen Massenpunkten und Geländelinien.

Das Ergebnis der Digitalen Geländemodellierung ist ein Digitales Geländemodell (DGM) als „Vereinfachung der realen Welt“¹⁵. Im Gegensatz zum Digitalen Höhenmodell (DHM) besitzt das DGM zu den Massenpunkten (Knoten im Dreiecksnetz) zusätzlich attributorientierte Objektklassen, wie beispielsweise Bruchkanten, markante Höhenpunkte oder Geländelinien. Weiterhin existieren im DGM Interpolationsvorschriften und es beschreibt „spezifischer“¹⁶ als das DHM die Geländehöhen der Erdoberfläche. Das DHM ist die quantitative Formbeschreibung der Erdoberfläche. Dieses ist über Massenpunkte als Dreiecksvermaschnung (Delaunay-Triangulation) oder als „äquidistantes Raster in der Horizontalebene angeordnet“¹⁷. Ob es sich bei der Datenstruktur um beispielsweise ein regelmäßiges Raster oder eine Triangulation handelt, ist über die geographischen Koordinaten bzw. ein ebenes Referenzsystem nicht festgelegt. Nach Bill sind im DHM sämtliche Höhenwerte gespeichert, welche „die Höhenstruktur des Objekts [...] repräsentieren“¹⁸. Im Digitalen Situationsmodell (DSM) werden alle Grundrissinformationen eines Grundrisselementes gespeichert, welche in Hinblick auf das DGM und seiner Geländestrukturierung („Böschungskanten, Gerippelinien“¹⁹) relevant sind. Da das DGM alle Geländeoberflächeninformationen digital gespeichert aufweist, besteht es in seinem Inhalt aus DHM und DSM. In der Literatur werden DGM und DHM teilweise synonym verwendet,

¹² Däßler & Palm, 1998, S.102

¹³ Däßler & Palm, 1998, S.102

¹⁴ Bollmann & Koch, 2001, S.157

¹⁵ Bill, 2010, S. 360

¹⁶ Schweinfurth, WS2010/11

¹⁷ Bollmann & Koch, 2001, S.160

¹⁸ Bill, 2010, S.361

¹⁹ Bill, 2010, S.361

2. Begriffsklärung

um die primäre „Bestimmung der dritten Koordinate von Punkten“²⁰ hervorzuheben. Bartelme erwähnt zudem, dass DGM-Eingangsdaten häufig Vektordaten sind und diese aus Punkten, Linien oder Flächen aufgebaut sind. Alle zusätzlichen Z-Koordinaten in einem DGM werden ausgehend von gemessenen Punkten interpoliert.

²⁰ Bartelme, 2005, S.162

3. DATENTYPENSTRUKTUREN ZUR ANALYSE UND VISUALISIERUNG DREIDIMENSIONALER RÄUME

Bei dreidimensionalen Daten wird eine weitere Dimension, der Z-Wert, eingeführt. In ihm können unterschiedliche Informationen gespeichert und angezeigt werden. Zusätzlich besitzt der Z-Wert Maßeinheiten, welche meist reale Höhenwerte, wie beispielsweise die Höhe über dem Meeresspiegel oder eine geologische Tiefe, darstellen. Es existieren zwei Typen von 3D-GIS-Daten: 3D-Feature-Daten und Oberflächendaten.

In diesem Kapitel werden die Eigenschaften sowie die Erstellung der existierenden Datentypenstrukturen über die verfügbaren Anwendungen von ArcGIS Desktop aufgezeigt. Darauf folgt eine tabellarische Gegenüberstellung für eine bessere Übersicht und eine anschließende Bewertung sowie eine Schwächenanalyse, welche Aufschluss über die spätere Verwendung der Datentypen im Arbeitsablauf geben sollen.

3.1. 3D-Feature-Daten

Bei 3D-Feature-Daten wird die dreidimensionale Objektinformation jeweils in der Geometrie der Features abgespeichert. Gleichzeitig können in ihnen „viele verschiedene Z-Werte für jede X-Y-Position“²¹ hinterlegt werden. Da Features gewöhnlich über eine Geometrie und Attribute verfügen, stellen sie einzelne Objekte dar (diskontinuierlich), wohingegen Oberflächendaten „kontinuierliche Phänomene“²² visualisieren. Es gibt zwei Arten von 3D-Feature-Daten: 3D-Features und Multipatch-Features. Diese werden im Folgenden näher erläutert und analysiert.

3.1.1. 3D-Features

Typische Geometrien der 3D-Features sind Punkt, Linie und Polygon. Ihre Attribute können z.B. Werte zur Feature-Höhe enthalten. Es gibt jedoch auch Fälle in denen die Höhenwerte in der Feature-Geometrie gespeichert sind oder gar keine existieren. Diese sind trotzdem über die Drapier- oder Extrudier-Funktion in ArcScene zusammen mit einem Oberflächenmodell dreidimensional darstellbar.

Bei 3D-Punkt-, Linien- oder Polygon-Features werden die Z-Koordinaten in ihrer Geometrie oder im jeweiligen Feature-Class-Feld „Shape“ gespeichert. Dadurch sind die Höhenwerte (Z-Werte) in jedem neu eingefügten 3D-Feature enthalten und können dreidimensional dargestellt werden. Beispiele für 3D-Punkt-Features sind: Flugzeugpositionen, seismische Punkte unterhalb der Erdoberfläche oder U-Bahn-Stationen. Unterirdische Verkehrswege oder die Flugbahnen der Flugzeuge werden durch 3D-Linien-Features visualisiert. Bei

²¹ <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/#/na/00q800000044000000/>

²² <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/#/na/00q80000005z000000/>

3. Datentypenstrukturen zur Analyse und Visualisierung dreidimensionaler Räume

Polygon-Features existieren zwei Elemente, die dreidimensional dargestellt werden können: „ihre äußere Umfangslinie [muss Z-Werte oder Höhenwerte enthalten] und ihre innere Fläche“²³. Jedoch können Unebenheiten nur durch Multipatches oder Oberflächendatentypen dreidimensional dargestellt werden, da ein 3D-Polygon stets genau drei Stützpunkte enthalten muss oder diese eine ebene Oberfläche abbilden. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist ein hoher Aufwand nötig. Daher sollten diese 3D-Flächen-Features nicht standardmäßig verwendet werden. Die 3D-Polygon-Features dienen der Oberflächendefinition und nehmen daher meist Bezug auf Flächen, wie Seegrenzen, Gebäudeumrisse oder Straßenabschnitte.

Erstellung

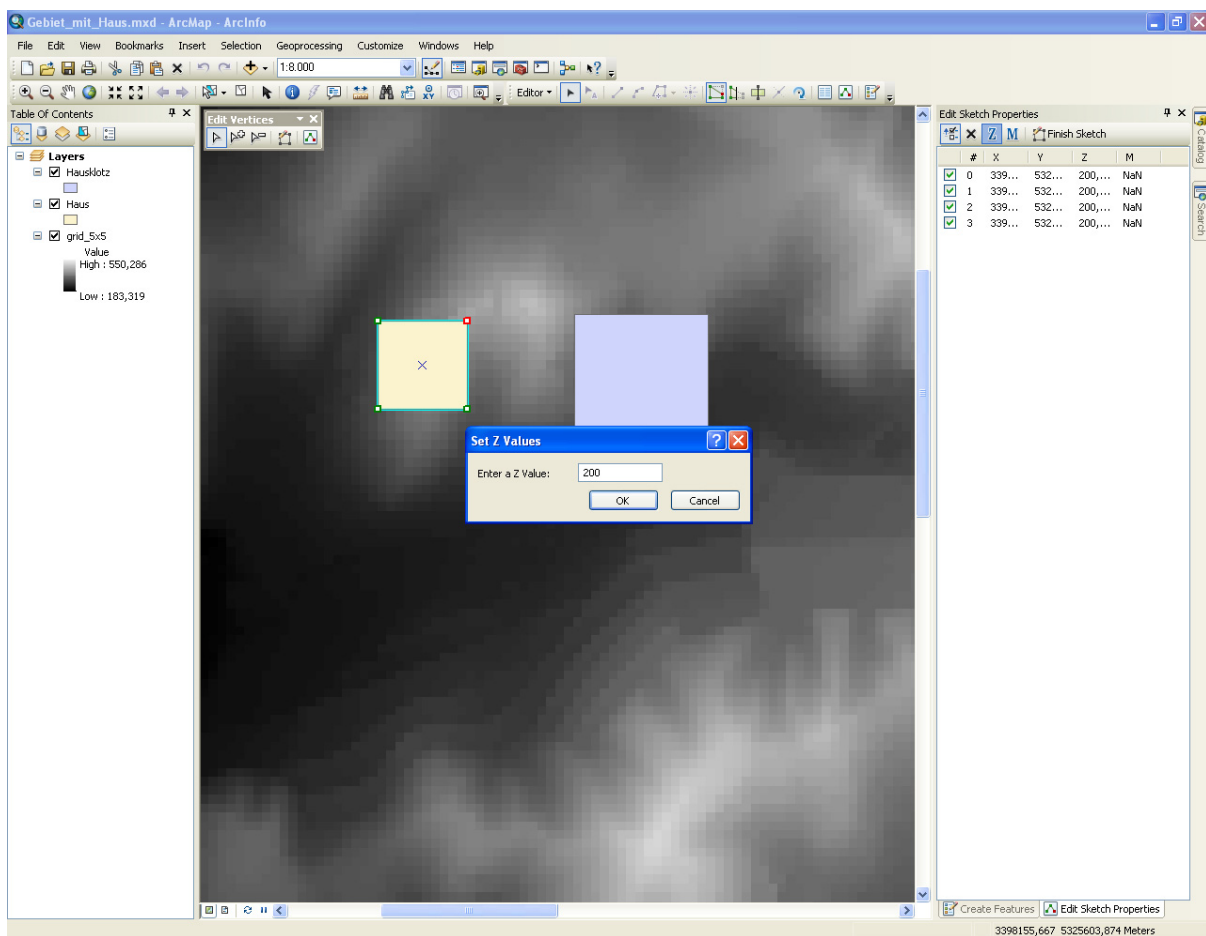


Abbildung 2: Polygon-Z-Erstellung in ArcMap

Zur Erstellung eines 3D-Features, wird entweder über ArcCatalog ein Shapefile mit Angabe eines Z-Wertes erstellt, oder es wird über die Möglichkeit, eine Feature-Class mit Z-Wert in eine File-Geodatabase zu speichern, erzeugt. Diese sind zu Beginn der Bearbeitung leer und

²³ <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/#/na/00q8000000qr000000/>

3. Datentypenstrukturen zur Analyse und Visualisierung dreidimensionaler Räume

werden in ArcMap mit dem Editor-Werkzeug bearbeitet. Hier werden beispielsweise Polygone erstellt und über das Werkzeug *Edit Sketch Properties* können Z-Werte manuell hinzugefügt werden (Abb. 2). Beim Öffnen der jeweiligen Datei in ArcScene muss nun über eine Extrusion die Gebäudehöhe angegeben werden, da der eingegebene Z-Wert nur für die Höhe des Objekts über NN gilt. Ein Beispiel in Abbildung 3 zeigt die Darstellung in ArcScene. Erkennbar ist, dass die eingegebenen Z-Werte über NN verwendet werden. Die vorher in ArcMap als Z-Werte eingetragene Höhe von 300m wird jeweils als Grundhöhe des Objekts verwendet. Aus diesem Grund schwebt der helle Hausklotz 300m über NN und somit etwas über dem Gelände, da dort die Höhen bei ca. 240 Metern liegen (Geländehöhe durch Info-Werkzeug erfasst).

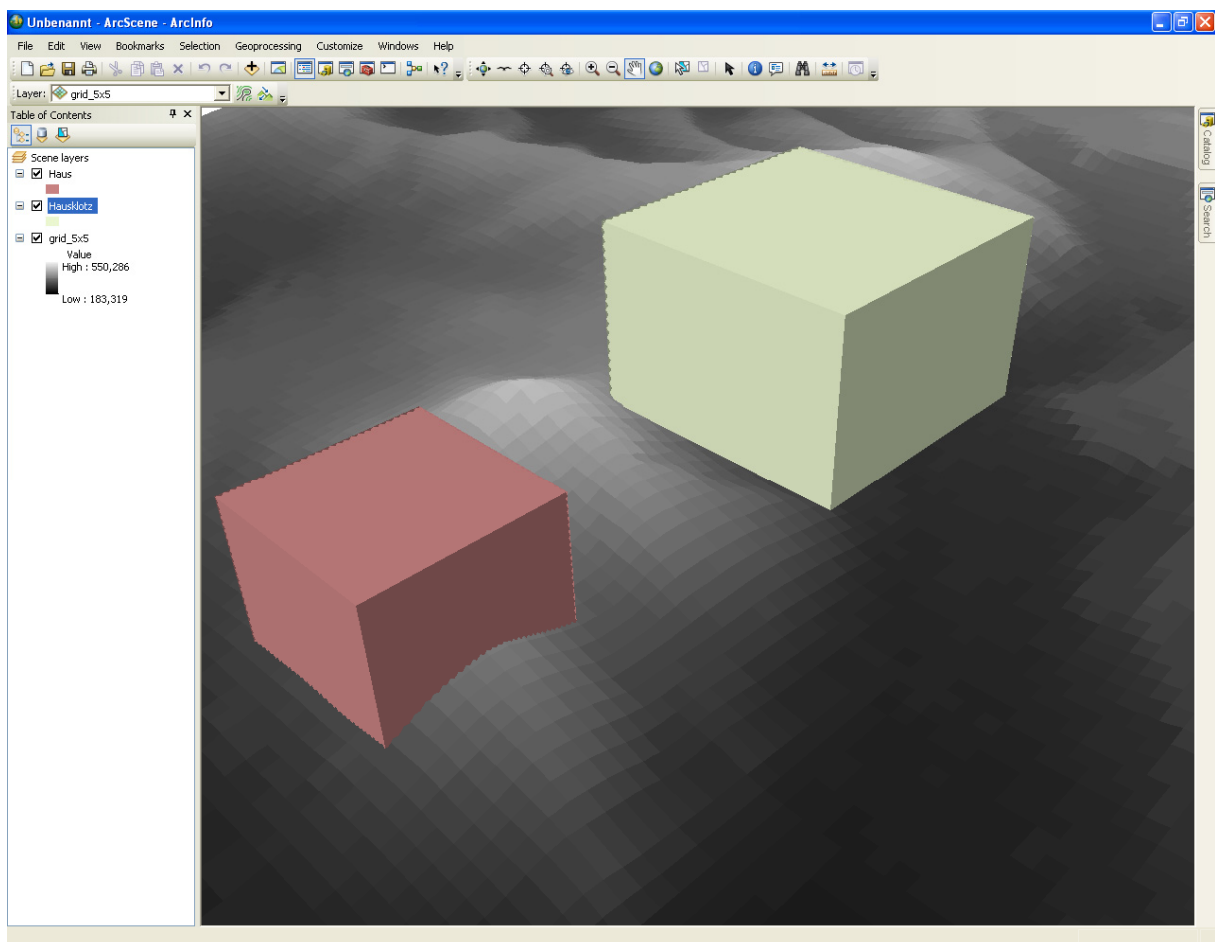


Abbildung 3: Hausklötze mit Höhenwerten in ArcScene

Die Bearbeitung mit dem Editor ist in ArcScene ebenso möglich und verläuft im gleichen Schema über die Funktion *Edit Sketch Properties*. Hier kann das Ergebnis durch die dreidimensionale Darstellung gleich begutachtet werden.

Neben der Erstellung von neuen 3D-Punkt-, Polylinien- oder Polygon-Feature-Class gibt es nach der ESRI Desktop Hilfe auch die Möglichkeit zweidimensionale Objekte in 3D-Features

zu konvertieren. Dies geschieht entweder durch die Ableitung der Höhenwerte aus einer Oberfläche, der Objektattribute oder einem konstanten Wert. Weiterhin ist die 3D-Feature-Erstellung über eine Digitalisierung einer Oberfläche in ArcMap und die weitere Interpolation der Z-Werte durchführbar.

3.1.2. Multipatch-Features

Ein GIS-Objekt wird dann als Multipatch-Feature bezeichnet, wenn es eine „Sammlung von Mustern speichert“²⁴. Diese grenzt das jeweilige GIS-Objekt als eine Zeile in einer Datenbank ab und kann Muster, wie Textur, Farbe, Transparenz und geometrische Informationen enthalten. Dabei sind die geometrischen Informationen meist Dreiecke, Dreiecksflächen, Dreiecksstreifen oder Ringe. In allen Multipatches sind Z-Werte gespeichert. Diese sind Teile der Koordinaten und können zur Mustererstellung, Analyse- und Interaktionsoptionen genutzt werden. Die Z-Werte definieren Form und Höhe der Multipatches. Dabei können die Werte absolut oder relativ zur Erdoberfläche sein. Zusätzlich muss auf die Definition der Einheiten im jeweiligen Feature-Dataset der Z-Werte geachtet werden, da diese nicht immer mit den X-Y-Einheiten übereinstimmen und es daher zu Problemen bezüglich der Darstellung kommen kann. Manche Multipatch-Features definieren ein bestimmtes Volumen und werden daher als „geschlossen“ bezeichnet. Es ist möglich sie in Analysewerkzeugen zu verwenden. Jedoch gibt es gewisse Regeln, die ein geschlossenes Multipatch-Feature ausmachen. Hier müssen zum Beispiel die Muster des Multipatches alle dieselbe Ausrichtung haben (entgegen dem Uhrzeigersinn ihrer Koordinaten) und dürfen sich nicht überschneiden. Zudem sollen keine Lücken oder Leerräume in der Form des Multipatch-Features auftreten.

Erstellung

Erstellt werden Multipatch-Features durch die Geoverarbeitungswerkzeuge in ArcGIS Desktop. Hier können Punkte bereits vorhandener 3D-Modelle, z.B. aus dem Google SketchUp-Format, in Multipatch-Feature-Classes umgewandelt werden. Weitere Funktionen zum Import in andere Formate, wie z.B. VRML, ist über das Werkzeug *3D-Dateien importieren* möglich.

Ein Multipatch-Feature wird standardmäßig als eine Feature-Class mit dem Typ Multipatch erstellt. Jedoch können 3D-Features mit Z-Werten extrudiert und über das Geoverarbeitungswerkzeug *3D-Layer to Feature Class* als Multipatch-Datei gespeichert werden. In diesem ist die zuvor über eine Extrusion erstellte 3D-Eigenschaft weiterhin gespeichert und das jeweilige Objekt wird dreidimensional dargestellt. Zudem ist es möglich

²⁴ ESRI Resource Center

ein bereits erstelltes 3D-Modell, beispielsweise aus einer Google SketchUp-, Collada- oder einer CAD-Datei, über *3D-Dateien importieren* in ArcScene einzufügen und ebenfalls ein Multipatch daraus zu generieren. Diese Erstellungsart ist jedoch mit einigen Schwierigkeiten verbunden, welche in 6.1.5. näher erläutert werden. Letztlich ist auch die Multipatch-Erstellung in ArcObjects auf der Programmiererebene gegeben.

3.2. Oberflächendaten

In einem dreidimensionalen Raum können „reale oder hypothetische Features“²⁵ digital dargestellt werden. Dabei sind reale Features beispielsweise Landschaften oder Stadtkorridore. Unter hypothetischen oder auch „abgeleitet[en] oder erfunden[en]“²⁶ Features versteht man z.B. Oberflächen, welche in Spielen oder Simulationen vorkommen, die für den Computer ausgerichtet sind. Solche Darstellungen sind 3D-Oberflächenmodelle. In den Oberflächendaten sind die 3D-Informationen einer Fläche entweder als Zellenwerte gespeichert oder von einem triangulierten Netzwerk dreidimensionaler Flächen berechnet. Anders als die 3D-Feature-Datentypen, können Oberflächendatentypen nur einen einzigen Z-Wert für jede X-Y-Position enthalten und werden deshalb als „fortlaufend“²⁷ bezeichnet. Daher werden diese Daten ab und zu auch als 2,5D-Daten beschrieben. Aus diesem Grund werden Oberflächenmodelle in ArcGIS als Oberflächenfunktionen betrachtet, was eine der wichtigsten Eigenschaften dieser Datentypen darstellt. Dabei besitzt dieser Datentyp eine Oberflächenkontinuität und differenziert sich somit von anderen Datentypen, die mehrere Z-Werte speichern können. Erstellt werden Oberflächenmodelle meist durch Interpolation oder Dreiecksvermaschung. Grundlegend gibt es drei Hauptarten von 3D-Oberflächen: Raster, TIN und Terrain-Oberflächenmodelle. Diese werden im Folgenden näher erläutert und auf ihre Erstellung hin untersucht.

3.2.1. Raster-Oberflächen

Bei Raster-Daten werden Zellen regelmäßig zeilen- und spaltenweise in einer durchgehenden rechteckigen Matrix angeordnet (daher auch Gitter, engl. Grid). Dabei spiegelt jede der gleich großen Zellen einen statischen Wert für ein genaues Gebiet der Erdoberfläche wieder. Dieser Wert kann beispielsweise Attributinformationen über Höhendaten oder den Wasserpegel einer Rasterzelle enthalten. Dreidimensionale Oberflächen, die als Raster visualisiert werden, können als kontinuierliche Daten betrachtet werden. Diese beschreiben Phänomene, die jeder Position der Oberfläche gewisse Messwerte zuweisen oder in Bezug zu einem festen Umgebungspunkt bzw. einer Quelle stehen. Sie stellen somit Phänomene dar, „die sich über einen Raum hinweg kontinuierlich

²⁵ <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/#/na/00q80000005z000000/>

²⁶ <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/#/na/00q80000005z000000/>

²⁷ <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/#/na/00q80000002n000000/>

3. Datentypenstrukturen zur Analyse und Visualisierung dreidimensionaler Räume

verändern“²⁸. Für räumliche und statistische Analysen bietet die einfache Datenstruktur des Rasters ein leistungsfähiges Format. Oberflächenanalysen sind mittels der Kontinuität der Datendarstellung problemlos möglich. Jedoch benötigt ein Rastermodell viel Speicherplatz und ist durch seine statische Auflösung nur bedingt skalierbar. Ein typisches Beispiel für ein Raster-Oberflächenmodell ist das Höhenmodell. Bei Rasterdaten ist zu beachten, dass die Lagegenauigkeit von der Größe der Rasterzellen abhängt, d.h. je größer die Rasterzelle desto ungenauer das Raster.

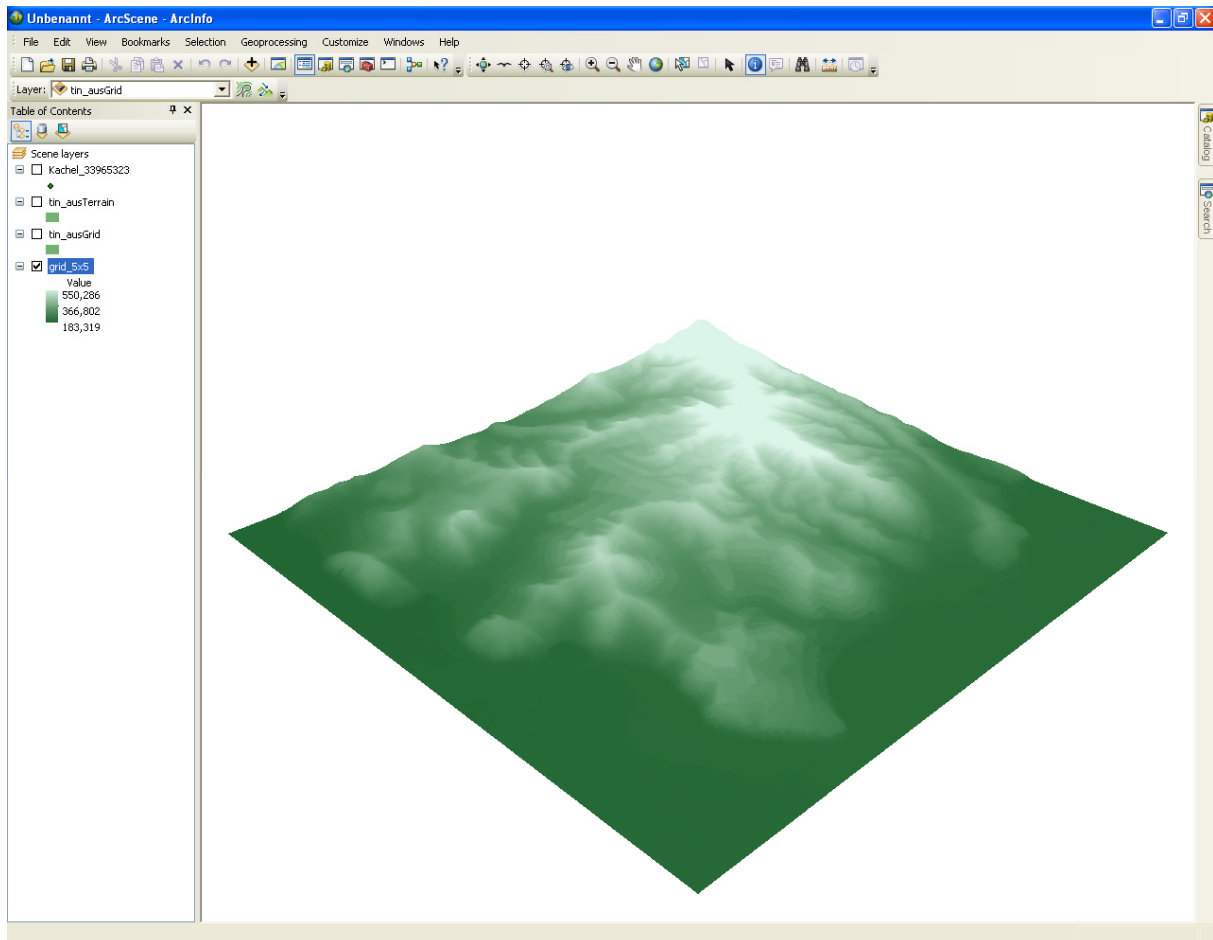


Abbildung 4: Raster

Erstellung

Die Raster-Erstellung hat viele Möglichkeiten. Ganz grundlegend ist ein Raster aus ASCII-Daten über das Geoverarbeitungswerkzeug *Conversion Tools/ To Raster/ ASCII to Raster* erstellbar. Ebenso einfach ist die Erzeugung aus TIN- oder Terrain-Oberflächendaten, welche sich in demselben Toolset befinden (*3D Analyst Tools/ Conversion/ From TIN* bzw. *From Terrain*). Raster (Abb. 4) sind die unkompliziertesten und zugleich schnellst erstell- und

²⁸ Geoinformatik GmbH, 2005, S.24

darstellbaren 3D-Oberflächendaten und somit sehr gut geeignet für dreidimensionale Anwendungen.

3.2.2. TIN-Oberflächen

Ein Triangulated Irregular Network (TIN)-Oberflächenmodell ist eine vektorbasierte „digitale Darstellung von Oberflächenmorphologien“²⁹. Diese werden durch Dreiecksvermaschung (beispielsweise der Delaunay-Triangulation) aus den enthaltenen unregelmäßig verteilten „Stütz- und Messpunkten“³⁰ erstellt, welche durch Kanten miteinander verbunden sind. Durch diese Kanten, die alle ein geometrisches Dreieck bilden, wird ein „durchgehendes Netz aus nichtüberlappenden dreieckigen Facetten“³¹ oder auch Flächen gebildet. Aus diesem Netz können wichtige lineare Objektpositionen interpoliert werden. Die Unregelmäßigkeit des Netzes ergibt sich aus „herausragenden Punkte[n] wie Berggipfel, Kirchturmspitzen“³² etc. Zudem ist die Auflösung der TINs abhängig von den Flächen, die durch die unregelmäßigen Knoten der Oberfläche entstehen. Ist die Fläche sehr veränderbar oder detaillierter, ist auch die Auflösung des TINs höher. Der Zeitaufwand für die effiziente Erstellung und Bearbeitung eines TINs ist, auf Grund der sehr komplexen Struktur der Daten, wesentlich höher als bei Raster-Oberflächenmodellen. Daher werden TINs üblicherweise für detaillierte Darstellungen von kleinen Gebieten eingesetzt. Coors & Zipf zählen wesentliche Vor- und Nachteile von TINs auf. Hervorzuheben ist hierbei die TIN-Erzeugung aus ASCII-Dateien sowie die dreidimensionale Darstellung und die Möglichkeit zur Analyse des Geländes. Weiterhin ist der Ablauf der TIN-Generierung automatisiert und die Koordinaten der Ausgangsdaten in den Flächendefinitionen werden beibehalten. Außerdem kann die Oberfläche farblich kategorisiert werden, was jedoch zu erhöhtem Speicherbedarf führt. Nachteilig ist, dass zur TIN-Berechnung lediglich die 2D-Daten verwendet werden und somit nicht die Lagegenauigkeit berücksichtigt wird. Dadurch ist auch die Brücken- und Tunnelgenerierung wesentlich schwieriger. Auf Grund der „Bildung von Horizontaldreiecken“³³ verschmelzen beispielsweise Brücken mit dem Gelände. Letztlich ist auch das Arbeiten mit einem Level of Detail (LoD) nicht möglich, da die Triangulierung immer gleich ist. Demzufolge werden stets sehr detaillierte Gebiete berechnet und dargestellt.

Erstellung

Bei der Erzeugung eines TINs ist es wie beim Raster möglich die Oberfläche aus ASCII-Daten in ein TIN als Feature Class (Geoverarbeitungswerkzeug *3D Analyst Tools/*

²⁹ <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/#/na/00q80000005z000000/>

³⁰ Bartelme, 2005, S.63

³¹ <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/#/na/00q80000005z000000/>

³² Bartelme, 2005, S.63

³³ Coors & Zipf, 2005, S.156

3. Datentypenstrukturen zur Analyse und Visualisierung dreidimensionaler Räume

Conversion/ From File/ASCII to Feature Class und weiter mit *TIN Management/ Create TIN*) umzuwandeln. Ebenfalls kann aus einem bereits existierenden Raster in ArcScene über das Werkzeug *3D Analyst Tools/ Conversion/ From Raster/ Raster to TIN* eine TIN-Oberflächendatei generiert werden. Nur in ArcGlobe (bzw. ArcCatalog) ist eine Erstellung aus einem vorhandenen Terrain erreichbar, da das Terrain-Format nur von ArcGlobe darstellbar ist. Hierbei müssen jedoch Pyramidenebenen angegeben werden, die je nach Einstellung den Feinheitsgrad des TINs bestimmen. Daher ist es ratsam die Default-Einstellungen zu belassen, da gilt: je höher der Feinheitsgrad der Pyramidenebenen, desto mehr Speicher wird durch die immer kleiner werdenden triangulierten Dreiecke benötigt. Dies führt zusätzlich zur Verlangsamung beim Laden des TINs.

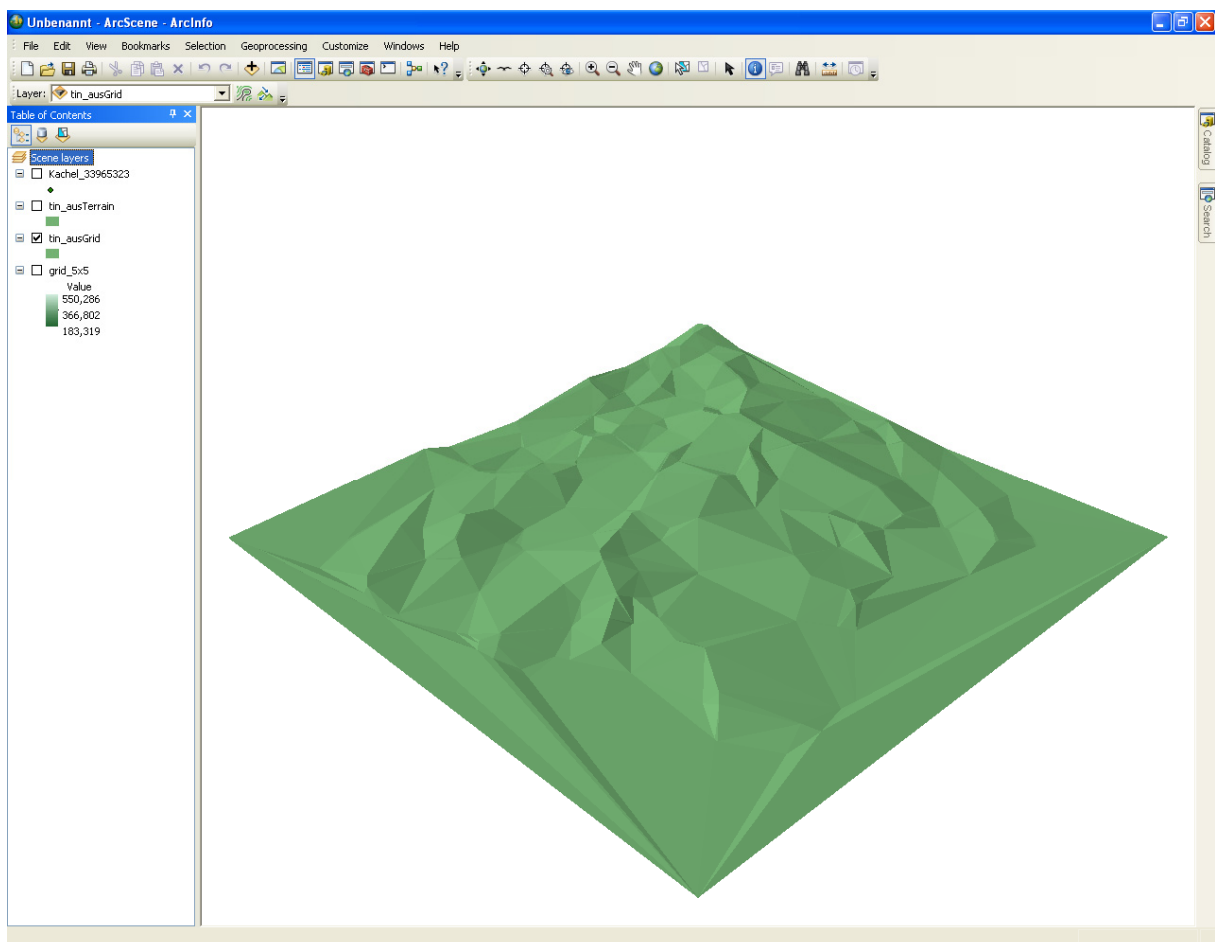


Abbildung 5: TIN aus Raster

3. Datentypenstrukturen zur Analyse und Visualisierung dreidimensionaler Räume

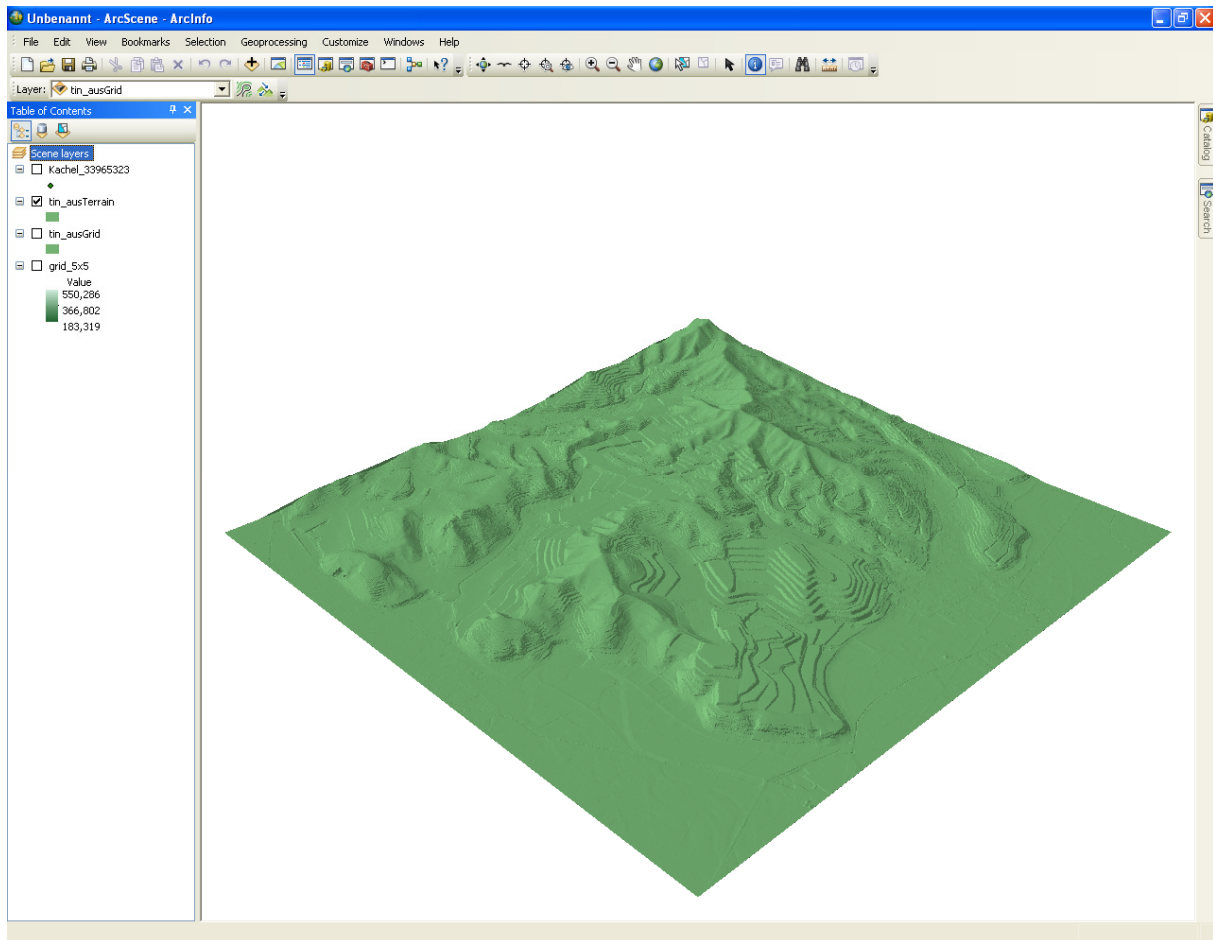


Abbildung 6: TIN aus Terrain

Ein Vergleich zwischen einem TIN, welches aus einem Raster erstellt wurde (Abb. 5) und einem aus einem Terrain erzeugten TIN (Abb. 6), zeigt den unterschiedlichen Detaillierungsgrad, welcher durch die Triangulation der Höhenwerte entsteht.

3.2.3. Terrain-Oberflächen

Die aus der Fernerkundung gewonnenen Höhendaten von LIDAR- und SONAR-Punktmessungen werden in sehr großen Datensätzen gespeichert. Durch Terrain-Oberflächen können solche großen Datenmengen in einer Geodatabase verwaltet und zusätzlich hochwertige und sehr genaue Oberflächen dargestellt werden. Ebenfalls ist die Organisation, Katalogisierung und Erstellung mit Hilfe von Terrains wesentlich komfortabler und ohne Einschränkungen in der Datenverwaltung, Bearbeitung der Ausgangsdaten und Erstellung von TINs unterschiedlichen Auflösungs- und Detaillierungsgrades möglich. Wie bereits erwähnt, ist die Darstellung von TINs sehr aufwendig und problematisch (Hardwarebeschränkungen durch komplexe Datenstruktur), was jedoch durch die Nutzung von Terrain-Oberflächen verbessert werden kann. Die betrachteten Bereiche werden bei

3. Datentypenstrukturen zur Analyse und Visualisierung dreidimensionaler Räume

diesen Datentypen „mit einer optimierten Auflösung [ge]rendert“³⁴. Das heißt, dass beispielsweise nur kleine Betrachtungsgebiete mit einer hohen Auflösung gerendert werden und eine große Knotenanzahl enthalten.

Weitere Vorteile von der Verwendung von Terrain-Oberflächen sind die TIN-Pyramiden, die durch "die Indizierung jeder Punktmessung"³⁵ mehrfach generiert werden. Die Pyramiden enthalten der Reihe nach immer weniger werdende Originalmesspunkte, wodurch ein TIN in jeder gewünschten Auflösung für einen bestimmten Maßstab erstellt werden kann. Daher werden beispielsweise für Ansichten in kleinem Maßstab weniger Originalmesspunkte benötigt, als Perspektiven im größeren Maßstäben. So wird je nach Maßstab eine geeignete Abbildung ohne Leistungseinbußen generiert. Außerdem sind eventuelle Änderungen jeder Zeit durchführbar und lokal anwendbar. Das bedeutet, dass das gesamte Modell nicht neu erstellt werden muss. Durch die ArcSDE-Versionierung ist eine leistungsstarke Bearbeitung der Daten und das Erstellen von Szenarien möglich. Zudem besteht die Möglichkeit einer zentralen Verwaltung, sowie der Mehrfachbenutzung. Hervorzuheben ist die gute Qualität des Terrains bei der Interpolation. Letztlich eignet sich das Terrain für interaktive Betrachtungen und Abfragen.

Erstellung

Das Erstellen eines Terrains ist zwar die aufwendigste und zeitintensivste Methode eine 3D-Oberfläche zu erzeugen, bietet jedoch das beste Ergebnis. Als erstes muss eine Personal-, File- oder ArcSDE-Geodatabase angelegt werden, in welche ein neues Feature-Dataset erzeugt wird. In diesem wird später eine Feature Class erstellt, welche im Terrain integriert und demnach Bestandteil dieser ist. Aus diesem Grund können Originaldaten nach einer Terrain-Erstellung entfernt werden. Für ein Terrain können mehrere Feature-Class-Typen verwendet werden. Zunächst wird von bestehenden Grunddaten (Punktwolken) ausgegangen. Diese, in einzelne Kacheln unterteilten ASCII-Daten, werden ausgewählt und gleichzeitig entpackt. Über das Geoverarbeitungswerkzeug *ASCII 3D to Feature Class* können die Daten in Multipoint-Dateien umgewandelt und somit der leeren Feature-Class hinzugefügt werden. In der Abbildung 7 ist eine Kachel aus der fertigen Terrain-File-Geodatabase in Rot zu erkennen. Nur zum Vergleich ist ein TIN (aus einem Raster generiert) darunter gelegt.

³⁴ <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/#/na/00q80000005z000000/>

³⁵ <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/#/na/00q80000005z000000/>

3. Datentypenstrukturen zur Analyse und Visualisierung dreidimensionaler Räume

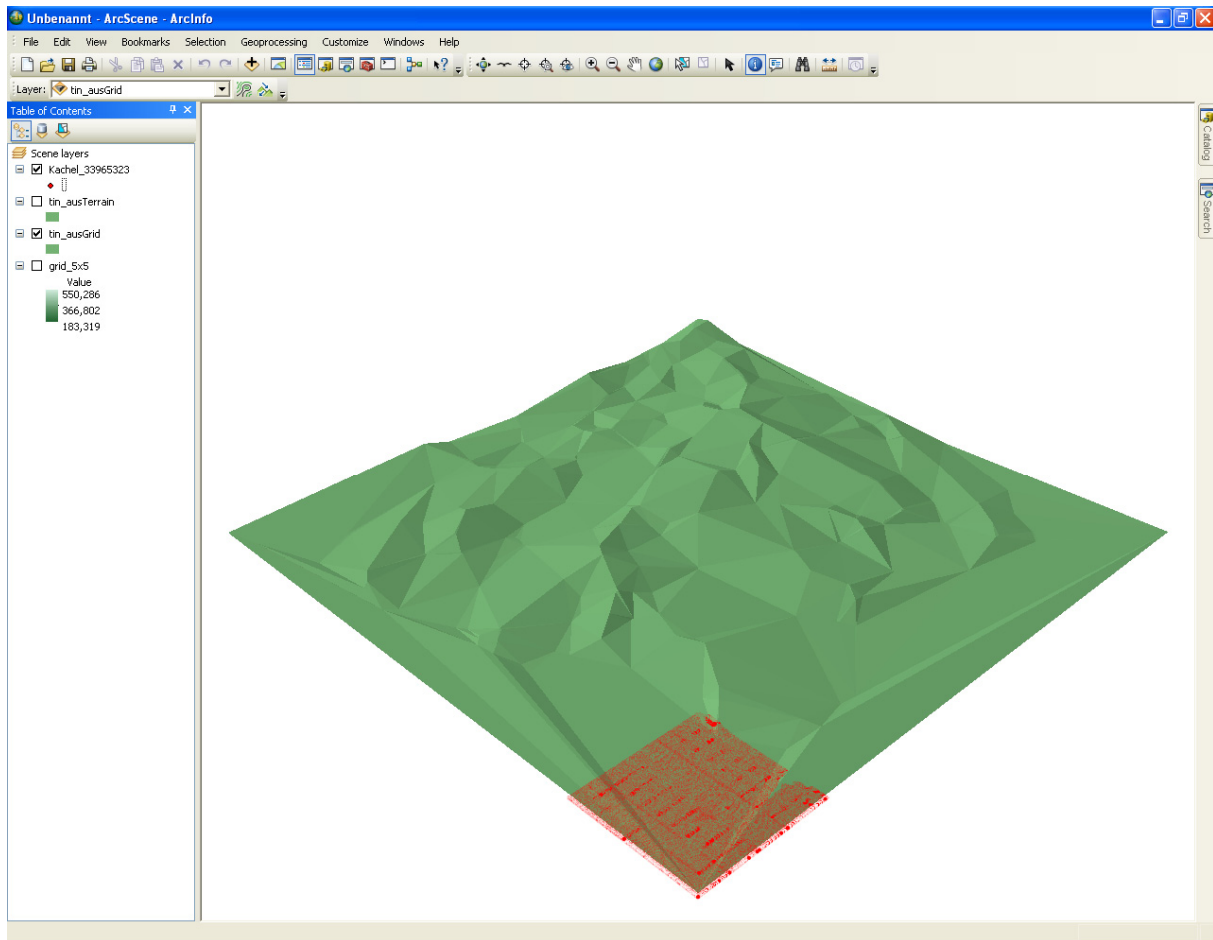


Abbildung 7: Kacheln auf TIN aus Grid generiert

Es gibt zwei Varianten zur weiteren Vorgehensweise in der Terrain-Erstellung: zum einen die Erzeugung im ArcCatalog oder über einen langwierigeren Prozess im ArcGlobe. Soll die Terrain-Erstellung im ArcCatalog ausgeführt werden, ist ein einziger Schritt notwendig. Mit der Funktion *New/ Terrain* (über Rechtsklick auf das vorher erzeugte Feature-Dataset) werden alle erforderlichen Prozesse in einem Durchgang aufbereitet. Zusätzliche Voraussetzung hierfür ist das "Point Spacing", welches die Punktabstände der Originalmesspunkte in der ASCII-Datei zueinander angibt. Ist der Punktabstand (Point-Spacing) nicht bekannt, kann er über das Werkzeug *Point File Info* identifiziert werden. Mit dem erforderlichen Werkzeug wird ein neues Shapefile aus der ASCII-Datei mit einer Attributtabelle generiert, welche die brauchbaren Point-File-Informationen enthält. Pyramidenebenen können automatisch generiert oder von Hand eingegeben werden. Bei der Erstellung im ArcGlobe ist ein wesentlich größerer Aufwand von Nöten. Hier müssen die Schritte einzeln durchlaufen werden. Zunächst wird ebenfalls, wie im ArcCatalog, über das Feature-Dataset ein neues Terrain erzeugt (*New/ Terrain*). Hierbei wird die horizontale Distanz zwischen zwei Punkten abgefragt, welche dem Point Spacing entspricht. Zusätzlich wird der Pyramidentyp abgefragt. In diesem zweiten Schritt müssen Pyramidenebenen

3. Datentypenstrukturen zur Analyse und Visualisierung dreidimensionaler Räume

hinzugefügt werden, welche je nach Belieben eingestellt werden können oder wie im ArcCatalog durch eine automatische Berechnung möglich sind. Nun wird alles der zu Beginn erstellten Feature-Class hinzugefügt und das fertige Terrain erstellt. Abbildung 8 zeigt ein Terrain in ArcGlobe.

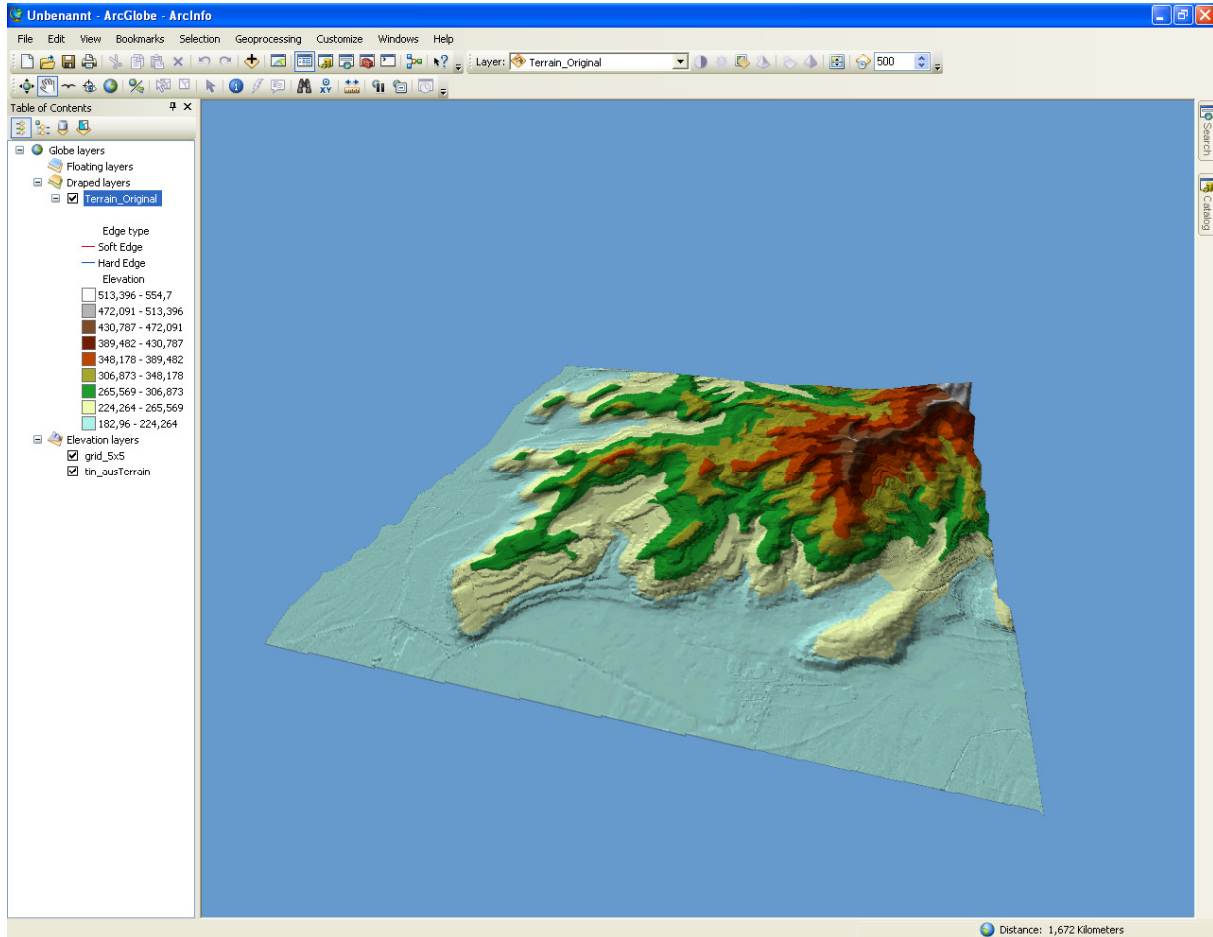


Abbildung 8: Terrain

3. Datentypenstrukturen zur Analyse und Visualisierung dreidimensionaler Räume

<p>Vorteil</p>	<ul style="list-style-type: none"> aus 2D-Features 3D-Features erstellen 	<ul style="list-style-type: none"> Texturierung möglich dreidimensionale Darstellung wird bei Datenimport in andere Viewer beibehalten unebene Objekte darstellbar 	<ul style="list-style-type: none"> schnelle Darstellung Höhenquelle im ArcGIS Explorer und Globe-Service unebene Objekte darstellbar einfache, schnelle, unkomplizierte Erstellung gut geeignet für 3D-Anwendungen 	<ul style="list-style-type: none"> Darstellung sehr detailliert, je nach Detaillierungsgrad der Pyramidenebenen komplexe Datenstruktur unebene Objekte darstellbar Ausgangsdaten beibehalten TIN-Erzeugung aus ASCII-Daten Analysemöglichkeiten Automatische TIN-Generierung 	<ul style="list-style-type: none"> Hochwertige, genaue Darstellung viele Mio. Höhendaten enthalten effektive Verwaltung von großen, punktbasierten Datenmengen in GDB hochwertige, exakte Oberfläche Organisieren, Katalogisieren und Erstellen genaue TIN-Erstellung mit unterschiedlichen Auflösungen Rendering mit optimierter Auflösung unebene Objekte darstellbar leistungsstarke Bearbeitung und Szenarienerstellung Mehrfachbenutzung gute Qualität
<p>Nachteil</p>	<ul style="list-style-type: none"> Aufwendige Bearbeitung Z-Werte für Höhen müssen enthalten sein 3D-Eigenschaften nicht automatisch (Extrusion nötig) Unebenheiten nicht darstellbar Hoher Erstellungsaufwand wg. Stützpunkten → standardmäßige Verwendung nicht empfohlen 	<ul style="list-style-type: none"> manchmal fehlerhafte Darstellung bei Datenimport (z.B. ArcGIS Explorer) 	<ul style="list-style-type: none"> Lagegenauigkeit ist abhängig von Auflösungsgrad Rendern großer TIN schwierig Genauigkeit ist abhängig von Auflösung des Rasters (nicht so detailliert) viel Speicherplatz benötigt bedingt skalierbar durch statische Auflösung 	<ul style="list-style-type: none"> in ArcGIS Explorer nicht importierbar (nur über GDB) in ArcGIS Explorer über Globe-Service nicht möglich aus Rastererstellung Darstellung nicht sehr schön, grobe Triangulation zeitaufwendige und wenig effiziente Erstellung, Bearbeitung hohe Kosten für Quelldatenanschaffung Auflösung abhängig von Flächenfacetten hoher Speicherbedarf bei Oberflächenkategorisierungen Lagegenauigkeit bei 2D-Verwendung nicht berücksichtigt Verschmelzung von z.B. Brücken mit Gelände kein LoD möglich 	<ul style="list-style-type: none"> in ArcGIS Explorer über GDB nicht möglich Berechnung dauert auf Grund der vielen Kacheln sehr lang aufwendige Erstellung führt häufig zu Programmabsturz Verwaltung und Modellierung sehr aufwendig schwierig, evtl. eingeschränkt

Tabelle 1: Gegenüberstellung der 3D-Datentypen

3.3.2. Bewertung

Auf Grund der Vor- und Nachteile, welche in Tabelle 1 aufgezeigt werden, können Aussagen zur weiteren möglichen Verwendung der 3D-Datentypen für diese Arbeit getroffen werden. Hierbei ist zunächst bei den 3D-Features anzufangen. Schon allein die überwiegend negativen Eigenschaften der 3D-Punkt-, Linien- und Polygon-Features zeigen, dass sie für die 3D-Visualisierung weniger geeignet sind. In der ESRI Desktop Hilfe wird darauf hingewiesen, dass eine standardmäßige Verwendung nicht empfohlen wird und daher auf die Multipatch-Features, welche eine bessere Möglichkeit zur Darstellung von unebenen Objekten bzw. Oberflächen bieten, zurückzugreifen ist. Selbst die Erstellung von 3D-Punkt-, Linien- und Polygon-Features ist wesentlich aufwendiger, da alle nötigen Stützpunkte berücksichtigt und einberechnet werden müssen. Weiterhin kann mit den Multipatch-Features ein möglicher und unkomplizierter Import in andere Programme garantiert werden, da diese in einer Geodatabase enthalten sein können. Multipatches können deshalb problemlos in ArcGIS Explorer oder in die FME-Workbench importiert und somit visualisiert bzw. weiterverarbeitet und in andere Datenformate umgewandelt werden. Außerdem können Collada-Dateien über die Geoverarbeitungswerkzeuge in ArcGIS nur aus Multipatches generiert werden. Weiterhin liegt der Vorteil von Multipatches darin, dass sie ihre 3D-Eigenschaften beibehalten, wohingegen beispielsweise ein 3D-Polygon-Feature erst für eine dreidimensionale Abbildung extrudiert werden muss. Diese Extrusion wird jedoch nicht im Objekt selbst gespeichert. Erst mit einer Umwandlung in ein Multipatch (*Layer to Feature Class*) kann die Geometrie beibehalten und in anderen Editoren, wie z.B. Google SketchUp, weiterverarbeitet werden. Im Zusammenhang mit Google SketchUp ist eine Texturierung der Multipatches möglich, was ein weiterer Punkt ist, der für die Verwendung dieses 3D-Datentypes spricht. Bei der Performanz-Betrachtung liegen keine wesentlichen Unterschiede von beiden 3D-Features vor. Beide besitzen eine relative gute Performanz, die eine zufriedenstellende Geschwindigkeit des Bildaufbaus der Features aufweist. Doch anhand der vielen Möglichkeiten Multipatch-Features zu verwenden und diese noch weiterverarbeiten zu können, werden diese für die Darstellung der Gebäude und Grundwasserebene eingesetzt.

Bei der Gegenüberstellung der Oberflächendatentypen zur 3D-Visualisierung können zunächst keine klaren Aussagen zur geeigneten Verwendung eines dieser Datentypen getroffen werden. Natürlich hat jeder der drei Oberflächentypen seine Vor- und Nachteile. Zu erwähnen ist hierbei die ausgezeichnete Darstellung des Geländes im Datentyp Terrain. Leider kann dieser nicht in jeden Viewer integriert werden, da er noch nicht überall unterstützt wird. Selbst in ArcGIS Desktop kann dieser Datentyp nur im ArcGlobe visualisiert und bearbeitet werden. Eine Einbindung in den ArcGIS Explorer ist gar nicht möglich. Außerdem ist eine Terrainberechnung sehr aufwendig und benötigt entsprechend viel Rechenaufwand und Rechenzeit. Für eine schnelle Datenübertragung und Darstellung

3. Datentypenstrukturen zur Analyse und Visualisierung dreidimensionaler Räume

müsste das Gebiet Baden-Württembergs vorberechnet werden, da die Performanz sehr mangelhaft bei einer Terrain-Darstellung ist. Der Aufbau dauert vergleichsweise lange und ist daher nicht für eine schnelle Darstellung über das Internet geeignet. Somit entfällt dieser Oberflächendatentyp schnell für weitere Betrachtungen. Gleichermäßen ist eine TIN-Berechnung bedingt durch die Auflösung und den Detailreichtum sehr aufwendig. Ein hoher Speicherbedarf sowie die zeitaufwendige und nicht-effiziente Erstellung und Bearbeitung des TINs sprechend gegen eine Verwendung dieses 3D-Datentypes. Zudem ist es beispielsweise im ArcGIS Explorer nur möglich ein TIN, welches sich in einer Geodatabase befindet, zu importieren. Darstellungen über einen Globe-Service sind aufgrund unerklärlicher Verzerrungen nicht durchführbar (mehr hierzu in 6.3.5.). Anzuführen ist jedoch die durchaus gute Performanz der TIN-Darstellung. Trotzdem benötigt beispielsweise eine Cache-Berechnung für einen Globe-Service überaus lange, was eine schnelle Datenübertragung behindert. Daher bietet sich das Raster als Oberflächendatentyp am besten für die Verwendung als Geländegrundlage an, da es schnell und unkompliziert zu erstellen ist. Zudem werden DGMs mit unterschiedlicher Auflösung von der LUBW im Vorfeld auch für andere Anwendungen berechnet, sodass diese bereits vorhanden sind. Außerdem ist der problemlose Import in die verwendeten Viewer ausführbar. Meist dient das Raster als Höhengrundlage für eine dreidimensionale Darstellung des Geländes, wohingegen TIN und Terrain hierfür keine Verwendung finden, da die Höhenwerte nicht ausgelesen werden können bzw. Fehler dabei entstehen. Selbst ESRI verweist in der Desktop Hilfe auf die gute Eignung des Rasters für 3D-Anwendungen. Aus diesen Gründen ist die Verwendung des Rasters für die in dieser Arbeit diskutierte Aufgabe am geeignetsten.

3.3.3. Schwächenanalyse

Bei der Analyse der tabellarischen Gegenüberstellung der 3D-Features (3D-Punkt, Linie, Polygon-Feature und Multipatch) fallen die wenigen Nachteile der Multipatches auf. Das Arbeiten mit Multipatches ist wesentlich leichter und schneller als das der herkömmlichen 3D-Features. So behalten sie z.B. bei der Übertragung aus ArcScene in ArcGlobe ihre definierten Eigenschaften, wie Extrusion, bei. Erst durch eine Umwandlung in ein Multipatch ist die dreidimensionale Darstellung gegeben. Eine weitere Schwäche der 3D-Features, insbesondere der Multipatches, ist die teilweise fehlerhafte Darstellung in anderen Programmen nach der Konvertierung in eine KML-Datei. Über das Conversion-Tool *Layer to KML* wird die Multipatch-Datei in eine für Google Earth und Google SketchUp lesbare Datei umgewandelt. Jedoch tritt beim Import in Google SketchUp ein Fehler auf, der den gesamten Import abbricht. Selbst durch verschiedene Lösungsversuche bei der Erstellung mit Hilfe unterschiedlicher Eingabeparameter konnte kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden. Weiterhin weist eine in ArcGIS Explorer importierte KML-Datei aus einem Multipatch Fehler in der Darstellung auf. Abbildung 9 zeigt, dass Teile des aus Dreiecken

3. Datentypenstrukturen zur Analyse und Visualisierung dreidimensionaler Räume

zusammengesetzten Multipatches fehlen. Höheneigenschaften jedoch werden exakt übernommen und stellen keine Probleme dar.

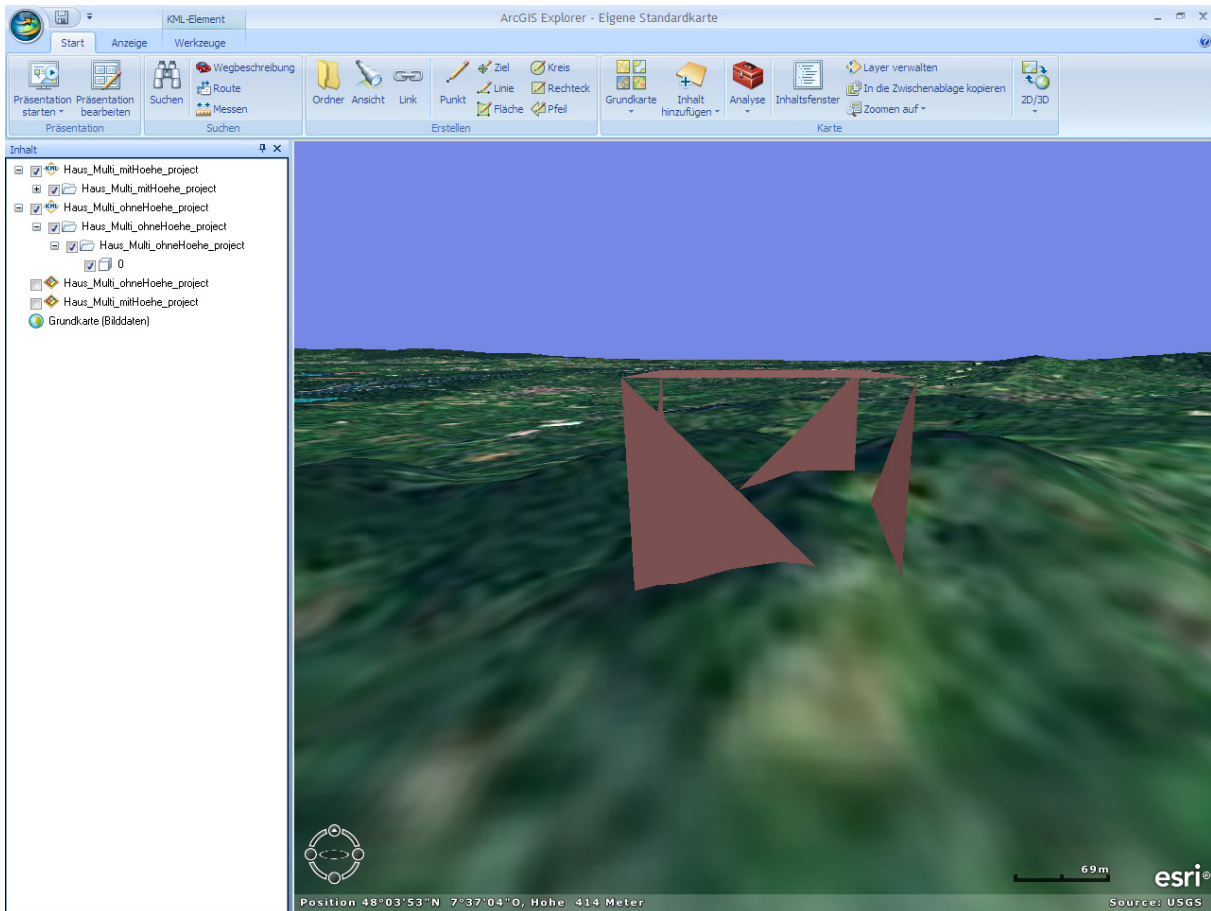


Abbildung 9: Fehlerhafte Multipatch-Darstellung in ArcGIS Explorer

Leider weisen die Oberflächendatentypen in Bezug zur Darstellung in anderen Viewern, wie dem ArcGIS Explorer, Schwächen auf. Demnach ist es nicht möglich ein Terrain über eine Geodatabase in den Viewer zu importieren, da der Dateityp nicht unterstützt wird. Auf Grund der großen Datenmenge eines Terrains dauert das Erstellen und spätere Laden einer solchen Datei vergleichsweise lange und ist für die Darstellung im Web wenig geeignet. Dies lässt sich auf die schlechte Rendering-Eigenschaft von Terrains zurückführen, da diese von der Hardwarebeschränkung eines jeden Rechners abhängig ist. Kann ein TIN nicht aus einem bereits vorhandenen Terrain generiert werden, so ist die Darstellung durch die Triangulation der Dreiecke sehr grob und visuell nicht sehr ansprechend. Außerdem sind TINs weniger verbreitet und werden demnach seltener genutzt als Raster. Dies ist durch ihre zeitaufwendige und ineffiziente Erstellung und Bearbeitung aufgrund der komplexen Datenstruktur zu begründen. Außerdem werden gute Quelldaten benötigt, bei denen die Kosten für den Erwerb zumeist sehr hoch sind. Das Raster bietet durch seine einfache und schnelle Erzeugung und die optische Darstellung, wie bereits erwähnt, den besten Oberflächentyp für eine dreidimensionale Visualisierung.

4. DATENFORMATE ZUR DATENÜBERTRAGUNG DREIDIMENSIONALER SZENEN UND OBJEKTE

Nach Coors und Zipf spielen standardisierte Dateiformate für Anwendungen im Internet eine wichtige Rolle, zumal durch internationale Standards eine einheitliche Darstellung der Web-Inhalte auf verschiedenen Rechnerkonfigurationen gewährleistet ist. Man ist ständig auf Grund der unzähligen „proprietäre[n] Formate“³⁷ um die Interoperabilität bemüht, mit deren Hilfe man die „Wiederverwendbarkeit und damit die Nachhaltigkeit“³⁸ sichert. Dadurch können Geodaten inhaltlich verlustfrei unter den Systemen ausgetauscht und gleichzeitig von verschiedenen Systemen und Nutzern interpretiert werden. Für die Standardisierung sind Organisationen wie die International Organization for Standardization (ISO), welche Normierungen für sehr viele Bereiche (außer Elektrik, Elektronik und Telekommunikation) entwickelt, oder das Open Geospatial Consortium (OGC), das die Entwicklung von Standards für räumliche und ortsbezogene Dienste leitet, verantwortlich.

Als Nächstes sollen allgemeingültige Datenformate zur Datenübertragung von 3D-Darstellungen vorgestellt werden. Dabei werden jedoch lediglich die in Literatur und 3D-Anwendungen gängigsten Datenformate berücksichtigt und später in einer Tabelle zusammengeführt und untersucht. Auch in diesem Kapitel werden die Datenformate auf ihre mögliche Verwendung für die Datenübertragung bewertet.

4.1. VRML und GeoVRML

Im Bereich der Virtual Reality (VR sind interaktive Umgebungen, in denen die Elemente der wahrnehmbaren Umwelt „vollständig computergeneriert“³⁹ sind) wird normalerweise das Datenformat Virtual Modelling Language (VRML) genutzt. Dieses textbasierte Format wird besonders bei Vektorgraphiken zur „Beschreibung von interaktiven 3D-Objekten und 3D-Welten“⁴⁰ benötigt. Nach Pomaska wird es weiterhin für wissenschaftliche Visualisierungen, Simulationen und Animationen verwendet. VRML „ist eine Skriptsprache, bzw. eine HTML Erweiterung“⁴¹ in der „statisch dreidimensionale Einzelobjekte ebenso beschrieben werden können wie dynamische, interaktive virtuelle Welten“⁴². Dieses Dateiformat soll für Animationen und Interaktionen, beispielsweise der Modifizierung und Bewegung von Objektpositionen, dienen. Bill spricht vom „Erleben“⁴³ dreidimensionaler Welten mit VRML im Internetbrowser. Die notwendigen VRML-Plug-Ins werden für jeden Browsertyp angeboten.

³⁷ Pomaska, 2007, S.2

³⁸ Coors & Zipf, 2005, S.56

³⁹ Bill, 2010, S.591

⁴⁰ Bill, 2010, S.591

⁴¹ Debacher, 2006

⁴² Coors & Zipf, 2005, S.142

⁴³ Bill, 2010

4. Datenformate zur Datenübertragung dreidimensionaler Szenen und Objekte

Der bekannteste ist der Cartona-Player. Mittels der Programmiersprache Java können Interaktionen, wie beispielsweise VR-Werkzeuge, eingebunden werden. Somit können Navigation und Interaktion, im Gegensatz zu den herkömmlichen statischen Abfragen, dynamisch realisiert werden. Angewendet wird das Dateiformat hauptsächlich im Bereich des CAD und wissenschaftlicher Visualisierungen, um Datenbestände zu erforschen und als „Mensch-Maschine-Interface“⁴⁴. VRML97, welches durch die ISO/IEC zum plattformunabhängigen, offenen „Standard für verteilte Virtuelle Welten im Internet“⁴⁵ geworden ist, nutzt den Szenengraph zur Beschreibung der Daten. Mit Hilfe dieser Datenstruktur können sämtliche Angaben zu Geometrie, Aussehen der Objekte, sowie Animation und Interaktionen hierarchisch angeordnet und strukturiert werden. Leider hat VRML97 durch seine „monolithische Struktur“⁴⁶ einen gewissen Nachteil, wodurch später das Dateiformat Extensible 3D entwickelt wurde (siehe 4.2.). Zu erwähnen ist jedoch, dass VRML97 "bisher wohl die größte Verbreitung bei der Visualisierung von 3D-Daten in Standard-Internetbrowsern"⁴⁷ erlangt hat. Nachteilig ist jedoch, dass die Internetnutzer ein weiteres Plug-In verwenden müssen.

Das Dateiformat GeoVRML ist die Erweiterung der VRML für „die Repräsentation geographischer Daten“⁴⁸. Mit GeoVRML kann das Georeferenzieren von Objekten möglich gemacht und die Lagegenauigkeit der virtuellen Szene auf der Erde mittels Koordinatensystemen, wie UTM, Gauß-Krüger oder WGS84, gewährleistet werden. Eine weitere Aufgabe ist die gute Handhabung großer Datenmengen bei der Datenübertragung. Entwickelt wurde das Dateiformat 1998 von der Arbeitsgruppe Web3D Consortium (W3C). Mittels GeoVRML kann ein echter Raumbezug, wie beispielsweise Koordinatensysteme oder Geländemodelle, dargestellt werden, was teilweise von den herkömmlichen GIS-Produkten unterstützt wird. Man kann georeferenzierte Daten, wie Karten oder 3D-Oberflächenmodelle, über einen Webviewer mittels Standard-VRML-Plug-In im Web-Browser anzeigen.

4.2. X3D

Das Dateiformat Extensible 3D (X3D) ist ebenfalls vom Web3D Consortium im Jahre 2001 als „Beschreibungssprache für 3D-Modelle“⁴⁹ entwickelt worden und ist nach Pomaska auch als Standard ausgezeichnet. Sie baut auf VRML97 auf und entspricht demzufolge seinem Nachfolger als Dateiformat in der 3D-Visualisierung. X3D basiert auf der „erweiterbare[n]

⁴⁴ Bill, 2010, S.592

⁴⁵ Pomaska,2007, S.68

⁴⁶ Coors & Zipf, 2005, S.149

⁴⁷ CPA Systems GmbH, 2011, S. 4

⁴⁸ Pomaska, 2007, S. 85

⁴⁹ Bill, 2010, S.592

4. Datenformate zur Datenübertragung dreidimensionaler Szenen und Objekte

Auszeichnungssprache⁵⁰ Extensible Markup Language (XML) und ist nach Bill „modular aufbaubar“⁵¹. Gleichzeitig soll es als Basis vom MPEG-4-Standard für dreidimensionale Welten genutzt werden. Die Graphiken im X3D-Format sind von hoher Qualität, werden in Echtzeit generiert, sind interaktiv und können Audio-, Video, sowie 3D-Daten enthalten. Pomaska erwähnt weiterhin, dass X3D „3D-Grafik und Multimedia“⁵² integriert, Inhalte dynamisch modifizierbar sind und aufgrund seiner modularen Struktur flexibel und erweiterbar ist. Für die Validierung ist der kostenlose X3D-Editor von web3d.org downloadbar. Mit diesem Tool kann in und aus dem X3D-Format exportiert bzw. importiert werden.

4.3. KML

Die Keyhole Markup Language (KML) wurde von der Firma Keyhole Corp. zur 3D-Visualisierung entwickelt und später von Google Inc. übernommen und ist ein sehr weit verbreiteter OGC-Standard. Sie erlaubt das „Beschreiben und Integrieren von lokalen Datensätzen“⁵³. Es besteht die Möglichkeit zur Datenaktualisierung und einer maßstabs- und zeitabhängigen Datendarstellung. Pomaska definiert KML als ein „XML-basiertes Dateiformat zur Modellierung und Speicherung geographischer Informationen zur Anzeige mit dem Google Earth Client“⁵⁴. Demnach ist KML nicht-binär. Nach Kern und von Nauthusius ist "KML die aktuell bedeutendste Auszeichnungssprache für geographische Objekte"⁵⁵. Weiterhin verwendet KML das geodätische Referenzsystem WGS84. Dabei sind die Koordinaten "dreidimensionale, geographische Koordinaten in Dezimalschreibweise (keine Minuten und Sekunden)"⁵⁶. Zudem werden alle Objekte in der Karte an die Krümmung der Erde angeglichen oder relativ zum Gelände angezeigt.

Zusätzlich existiert das Dateiformat Collada (Collaborative Design Activity), welches zum Datenaustausch zwischen „modernen 3D-Autorenwerkzeugen und DCC (Digital Content Creation)- Programmen“⁵⁷ dient. Es kann ebenfalls wie KML in Google Earth dargestellt werden und ist ebenso in ArcGIS erzeugbar.

⁵⁰ <http://de.selfhtml.org/xml/intro.htm>

⁵¹ Bill, 2010, S.593

⁵² Pomaska, 2007, S.78

⁵³ Bill, 2010, S.248

⁵⁴ Pomaska, 2007, S.201

⁵⁵ Kern & von Nauthusius, 2010, S. 196

⁵⁶ Kern & von Nauthusius, 2010, S. 196

⁵⁷ Pomaska, 2007, S.211

4.4. CityGML

Standard für den „Austausch von Geodaten ist Geographic Markup Language (GML)“⁵⁸. Sie ist eine Implementierungsspezifikation des OGC und basiert auf Geometrie- und Topologiemodellierung unter dem ISO Standard 19107 ("Geographic Information-Spatial Schema"). Hervorzuheben ist die Abwärtskompatibilität. Das Datenformat GML besitzt viele Primitive, wie z.B. Objekt, Geometrie, Koordinatensystem, Zeit oder Coverage, welche für die Verwendung in der 3D-Visualisierung auf Grund des Rechenaufwands sehr unpraktisch sind. Aus diesem Grund wurden anwendungsspezifische Profile, wie CityGML, entwickelt, die eine optimale dreidimensionale Darstellung ermöglichen. Hierbei ist zu erwähnen, dass sich das XML-basierte Dateiformat CityGML festgesetzt hat, um 3D-Welten im Stadtbereich darzustellen. Es definiert die Klassen und Beziehungen für die relevantesten topographischen Objekte von Städten und Regionalmodellen mit Bezug zu ihren geometrischen, topologischen, semantischen Eigenschaften und Darstellungseigenschaften. Darin inbegriffen sind nach citygml.org⁵⁹ Generalisierungshierarchien zwischen thematischen Klassen, Aggregationen, Objektbeziehungen zueinander und räumlichen Eigenschaften. CityGML soll nicht nur Stadtmodelle repräsentieren, sondern auch Augenmerk auf die semantische Darstellung thematischer Eigenschaften, Klassifizierungen und Aggregationen von DGMs, Vegetation, Verkehr oder Gebäuden berücksichtigen. Jedoch ist dieses Format nur „bei vollständiger 3D- bzw. 4D-Datenlage“⁶⁰ zu verwenden, da die virtuelle Welt „interaktiv begehbar“⁶¹ wird. Zu verwenden ist CityGML in unterschiedlichen thematischen Bereichen, wie Gebäude, Vegetation, Gewässer oder Relief. Nach Bill sind für das Datenformat CityGML die „größten Chancen“⁶² im GIS-Umfeld zu sehen. Entwickelt wurde dieses Format 2002 von der Special Interest Group 3D (SIG 3D) und der Initiative Geodateninfrastruktur Nord-Rhein-Westfalen (GDI NRW). Ziel war es ein allgemeingültiges Datenformat mit einheitlicher Datenbasis, Attributen und Relationen hervorzubringen, das über verschiedene Anwendungen ausgetauscht werden kann. Gleichzeitig ist CityGML durch die internationale OGC-Standardisierung eine Grundlage für 3D-Stadtmodelle und kann kostenlos bezogen werden. Zudem ist die Gewährleistung der Systemunterstützung und Einbindung in Produkte, wie ArcGIS von der Firma ESRI, gegeben.

4.5. 3D PDF

Das Portable Document Format ist durch die ISO normiert und von Adobe Systems Incorporated entwickelt. Vorteilhaft ist die Kombination verschiedener Dateiformate in einem

⁵⁸ Pomaska, 2007, S.2

⁵⁹ citygml.org (Kolbe, 2007)

⁶⁰ Bill, 2010, S.593

⁶¹ Bill, 2010, S.255

⁶² Bill, 2010, S.256

4. Datenformate zur Datenübertragung dreidimensionaler Szenen und Objekte

einziges PDF-Dokument. Eine veränderte Darstellung in den jeweiligen Adobe Readern der Nutzer ist durch das klare PDF-Format nicht möglich. Somit ist die Einheitlichkeit sowie die Plattformunabhängigkeit für den Datenaustausch gewährleistet, wodurch sich das Format weltweit in allen Bereichen etabliert hat und mittlerweile unverzichtbar ist.

Seit der Adobe Acrobat Reader Version 8.1 ist es möglich dreidimensionale Objekte interaktiv in einem PDF-Format darzustellen. Mit diesem Format können einige dienliche Funktionen durchgeführt werden, um einfache 2D-Darstellungen in die dritte Dimension zu überführen und somit einfachere und verständlichere Visualisierungen von Produkt-ergebnissen oder Planungsideen zu erhalten. Man kann das PDF downloaden "oder als Plug-In im Browser"⁶³ zur Präsentation von technischen Produkten aus Bereichen, wie Marketing, Produktentwicklung und -wartung oder Verkauf bereitstellen. "3D-Inhalte werden in interaktiven Adobe PDF-Dateien in der gleichen Qualität dargestellt wie in der Originalanwendung, unabhängig von der Anzeigenumgebung"⁶⁴. Eine hohe Qualität, Interaktivität und Flexibilität der Darstellung sind somit grundlegende und für sich sprechende Merkmale des 3D-PDFs. Für die Erzeugung dieses Formats sind leider lizenzträchtige Werkzeuge, wie Adobe Acrobat Pro und der dazu notwendige Plug-In "3D PDF Converter" von der Firma Tetra 4D, notwendig. In einer früheren Version (Adobe Acrobat 8 und 9 Pro Extended) konnte ein 3D-PDF jedoch ohne zusätzliches Plug-In erstellt werden, da der Converter integriert war. Um ein 3D-Modell in Adobe in ein PDF-Dokument zu implementieren, wird entweder ein U3D-Modell⁶⁵ oder ein PRC-Modell⁶⁶ verwendet.

4.6. Shockwave 3D

Dieses Dateiformat ist 2001 von Macromedia entwickelt worden. Es dient nach Coors & Zipf zur multimedialen Darstellung. Für dieses nichtstandardisierte Format ist ein zusätzliches Plug-In im Browser erforderlich, der Macromedia Shockwave Player. Zusätzlich ist zur Erzeugung der Macromedia Director notwendig. Der Detaillierungsgrad der Geometrie von Objekten ist bei der Datenübertragung abhängig von der verfügbaren Bandbreite und der Performanz des Client-Rechners. Weiterhin werden georeferenzierte Inhalte nicht unterstützt. Werden 3D-Szenen im Internet mittels Shockwave 3D dargestellt, können diese in Echtzeit gestreamt werden. Demnach ist die Anzeige komplexer 3D-Modelle möglich. Zu erwähnen ist, dass dieses Dateiformat größtenteils für die Entwicklung von dreidimensionalen Computer- und Konsolenspielen verwendet wird. Aus diesen Gründen

⁶³ <http://www.3d-pdf.eu/>

⁶⁴ http://www.adobe.com/de/manufacturing/solutions/3d_solutions/index.html

⁶⁵ Universal 3D ist ein offenes 3D-Format, welches ab der Version Adobe Reader 7 lesbar ist. Es wird inzwischen von etlichen aktuellen CAD-Systemen unterstützt.

⁶⁶ PRC ist ein proprietäres 3D-Format, welches sehr gute Eigenschaften aufweist (z.B. exakte Geometrie) und von Adobe ist. Es ist ab Version Adobe Reader 8 lesbar.

4. Datenformate zur Datenübertragung dreidimensionaler Szenen und Objekte

wird das Dateiformat Shockwave 3D nicht weiter untersucht, muss jedoch der Vollständigkeit halber für die Ausführungen dieser Arbeit mit erwähnt werden, da es in der Literatur gehäuft auftaucht.

4.7. Vergleichsanalyse

4.7.1. Tabellarische Gegenüberstellung

	VRML und GeoVRML	X3D	KML/ Collada	CityGML	3D PDF	Shockwave 3D
Standard	<ul style="list-style-type: none"> ja ISO-Standard 	<ul style="list-style-type: none"> ja ISO-Standard 	<ul style="list-style-type: none"> ja OGC-Standard 	<ul style="list-style-type: none"> ja internationale OGC-Standardisierung ISO Standard (GML) 	<ul style="list-style-type: none"> ja ISO Standard (PDF) 	<ul style="list-style-type: none"> nein
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> textbasiert bei Vektographiken Beschreibung von interaktiven 3D-Objekten Skriptsprache bzw. HTML-Erweiterung Szenengraph zur Datenbeschreibung 	<ul style="list-style-type: none"> Beschreibungssprache für 3D-Modelle basiert auf XML modular aufbaubar 	<ul style="list-style-type: none"> 3D-Visualisierung Beschreiben und Generieren von lokalen Datensätzen XML-basiert Modellierung und Speicherung geographischer Daten 	<ul style="list-style-type: none"> Implementierungsspezifikation basiert auf Geometrie- und Topologiemodellierung 3D-Stadtmodelle 	<ul style="list-style-type: none"> 2D in 3D-Darstellungen überführbar Visualisierung von Produktergebnissen 	<ul style="list-style-type: none"> multimediale Darstellung
Anwendung/ Verwendung	<ul style="list-style-type: none"> CAD wissenschaftl. Visualisierungen Virtual Reality Anwendungen Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Softwaresystemen Repräsentation geographische Daten (GeoVRML) Animationen und Interaktionen großer Datenmengen Georeferenzierung Darstellung animierter virtueller 3D-Welten im Web 	<ul style="list-style-type: none"> Nachfolger von VRML97 Visualisierung dreidimensionaler Welten 	<ul style="list-style-type: none"> Auszeichnungssprache für Geodatenbeschreibung Georeferenzierung nur in WGS84 Geographische Ausdrucksform Visualisierung 2D-Karten und 3D-Globen im Internet 	<ul style="list-style-type: none"> 3D-Welten im Stadtbereich Generalisierungshierarchien zwischen thematischen Klassen, Aggregationen, Objektbeziehungen zueinander und räumliche Eigenschaften semantische Darstellung thematischer Eigenschaften, Klassifizierungen und Aggregationen von DGMS, Vegetation, Verkehr oder Gebäuden Interaktion 	<ul style="list-style-type: none"> Visualisierung komplizierter Objekte, Planungen mögliche Darstellungsarten sind: Transparent, Kantensicht, Schnittperspektive & gerendert die Darstellung ist zoombar & 360° drehbar 	<ul style="list-style-type: none"> Darstellung multimedialer Inhalte
Import/Export	<ul style="list-style-type: none"> ArcScene 	<ul style="list-style-type: none"> X3D-Editor 	<ul style="list-style-type: none"> 3D Analyst 	<ul style="list-style-type: none"> FME 	<ul style="list-style-type: none"> Adobe Acrobat Pro FME LaTeX 	<ul style="list-style-type: none"> Macromedia Director
Unterstützte Viewer	<ul style="list-style-type: none"> ArcScene Plug-In im Browser größte Verbreitung in Standard-Internetbrowsern 	<ul style="list-style-type: none"> X3D-Editor 	<ul style="list-style-type: none"> Google Earth ArcGIS Explorer ArcGlobe NASA World Wind (Bing Maps 3D) 	<ul style="list-style-type: none"> CityViewer XNavigator 	<ul style="list-style-type: none"> Adobe Reader 	<ul style="list-style-type: none"> Plug-In im Browser
Vorteil	<ul style="list-style-type: none"> in vielen Anwendungen unterstützt GeoVRML ist Erweiterung für Repräsentation geographischer Daten → Georeferenzierung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> hohe Qualität Echtzeitgenerierung interaktiv können Audio-, Video, 3D-Daten enthalten flexibel, erweiterbar Integration von 3d-Graphik und Multimedia Modifizierung dynamischer Inhalte 	<ul style="list-style-type: none"> Geodaten in Raster- oder Vektorformat in vielen Anwendungen unterstützt aktuell bedeutendste Auszeichnungssprache gute Eignung zur perspektivischen Darstellung Kompatibilität Möglichkeit zur Datenaktualisierung und maßstabs- und zeitabhängige Objektdarstellung 	<ul style="list-style-type: none"> Abwärtskompatibel allgemeingültiges Datenformat (einheitlicher Datenbasis, Attributen und Reaktionen) über verschiedene Anwendungen austauschbar (Systemunterstützung und Einbindung in verschiedene Programme) 	<ul style="list-style-type: none"> die Ansichten definierbar Zusatzinformationen können eingeblenndet werden animierbar allgemein anerkannt, weit verbreitetes Programm → Kommunikationserleichterung produktivere Arbeit durch schnelle Fehlererkennung → bessere Ergebnisse hohe Qualität, Interaktivität, Flexibilität 	<ul style="list-style-type: none"> multimedial

4. Datenformate zur Datenübertragung dreidimensionaler Szenen und Objekte

<p>Nachteile</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plug-In notwendig • monolithische Struktur 	<ul style="list-style-type: none"> • findet kaum Verwendung 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht binär 	<ul style="list-style-type: none"> • in den Standardviewern keine Unterstützung 	<ul style="list-style-type: none"> • Adobe Acrobat Pro und Plug-In, FME notwendig zur Erstellung • kleine leicht übermittelbare Dateien 	<ul style="list-style-type: none"> • Plug-In notwendig (Macromedia Shockwave Player) • Detaillierungsgrad anhängig von Bandbreite und Performanz • keine Unterstützung georeferenzierter Daten • kein Standard
---	--	---	--	---	--

Tabelle 2: Genüüberstellung 3D-Datenformate

4.7.2. Bewertung

Für die 3D-Darstellung zeichnen sich die im Vorfeld aufgeführten Datenformate am besten aus. Jedoch gibt es auch in dieser Auflistung Formate, die mehr herausstechen als andere. Hervorzuheben sind hier vor allem KML bzw. Collada und CityGML. Diese Datenformate werden bereits überwiegend bei der Erstellung der 3D-Stadtmodelle, beispielsweise von Karlsruhe oder Stuttgart, verwendet. Auch das VRML-Format ist sehr geeignet zur Datenübertragung innerhalb von 3D-Szenen. Beispielsweise ist eine Unterstützung dieses Datenformates in ArcGIS gegeben. Die in ArcScene erstellten dreidimensionalen Szenen können über VRML exportiert und angezeigt werden. Doch am stärksten wird KML bzw. Collada in ArcGIS Desktop unterstützt. Es gibt hierfür einige Werkzeuge im 3D-Analyst und auch die Darstellung in ArcGlobe ist mühelos möglich. Weiterhin können Datenformate, wie CityGML und 3D-PDF, über die Feature Manipulation Engine (FME) erzeugt werden. Natürlich gibt es auch andere Erstellungsmethoden, jedoch ist über die FME-Schnittstelle ein weites Spektrum der Datenkonvertierung gewährleistet. Zudem sollte für eine 3D-PDF-Erzeugung das kostenpflichtige Programm Adobe Acrobat Pro verwendet werden, da hier zusätzliche Voreinstellungen getroffen werden können. Beispielsweise ist über den Arbeitsablauf in der FME-Workbench keine Farbe- oder Ansichtseinstellung einstellbar, sodass die 3D-Szene beim Öffnen immer von oben betrachtet wird und eine dreidimensionale Ansicht erst durch Drehen mit der Maus erreicht wird. Da die FME-Schnittstelle bei der LUBW bereits besteht, können unnötige zusätzliche Lizenzkosten vermieden werden. Nebenbei ist der Standardviewer Adobe Reader sehr weit verbreitet und somit kann das 3D-PDF problemlos zur Datenübertragung für eine bequeme Kommunikation der Anwender untereinander verwendet werden. Das Format X3D ist zwar der offizielle Nachfolger von VRML, trotzdem wird VRML nach wie vor für die Datenübertragung der meisten dreidimensionalen Anwendungen verwendet. Das X3D-Format befindet sich sicherlich noch in einer Übergangsphase, um zu einem universellen standardisierten Einsatz im Bereich der 3D-Visualisierung zu gelangen. Letztlich ist das Datenformat Shockwave 3D ein eher veraltetes Datenübertragungsformat für 3D-Anwendungen und wird aufgrund seines fehlenden Standards kaum genutzt. Jedoch wird es in der Literatur häufig aufgeführt und erwähnt und sollte deshalb in dieser Arbeit auch ihren Platz finden.

4.7.3. Schwächenanalyse

Grundlegende Schwächen liegen bei fast allen Datenformaten darin, dass zusätzliche Plug-Ins zur Erstellung notwendig sind. Zumeist können die Datenformate nur über Programme exportiert werden, die über Entwicklerfirmen angeboten werden, wodurch eine programmübergreifende Nutzung schwierig gestaltet ist. Andererseits werden die wichtigsten Standarddatenformate heutzutage größtenteils unterstützt. Wie bereits erwähnt können KML, Collada, VRML, CityGML und das PDF-Format dazugezählt werden. Den größten Nachteil

4. Datenformate zur Datenübertragung dreidimensionaler Szenen und Objekte

besitzt das Datenformat Shockwave 3D, welches kein anerkannter Standard für die Datenübertragung von 3D-Anwendungen ist. Es werden außerdem keine georeferenzierten Daten unterstützt und der Detaillierungsgrad hängt stark von Bandbreite und Performanz des Nutzer-Rechners ab. Somit eignet sich dieses Datenformat kaum für die Anwendung im Bereich georeferenzierter Grundwasserdaten. CityGML bietet zwar eine gute Grundvoraussetzung für die Datenübertragung innerhalb von dreidimensionalen Visualisierungen, wird jedoch in den Standardviewern, wie beispielsweise Google Earth oder auch ArcGIS Explorer, nicht unterstützt. Da es bereits eine große Anzahl von Nutzern dieser Viewer gibt, ist die mangelnde Einbindungsmöglichkeit bedauerlich. Bei den 3D-Stadtmodellen, wie z.B. dem von Karlsruhe, wird dieses Datenformat bereits erfolgreich eingesetzt und bietet eventuell für zukünftige Datenübertragungsworkflows eine geeignete Möglichkeit für seine weitere Etablierung. Ebenso verhält sich der Umgang mit dem Format X3D, welches noch nicht den respektablen Anschluss an seinen Vorgänger VRML aufweisen kann. In den in dieser Arbeit verwendeten Anwendungen konnte keine Möglichkeit zur Datenumwandlung in X3D gefunden werden. Dagegen stechen KML, Collada und 3D-PDF hervor, obwohl auch hier einige Mängel zu erwähnen sind. Hier ist die erforderliche Lizenz für ein Programm zur Datenkonvertierung in ein 3D-PDF zu thematisieren. Natürlich gib es auch kostenfreie Konvertierungsmöglichkeiten, welche jedoch aufwendig sind und im Test zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis führten. Auch KML- und Collada-Dateien weisen beispielsweise beim Import in ArcGIS Explorer Fehler in der Darstellung auf.

4. Datenformate zur Datenübertragung dreidimensionaler Szenen und Objekte

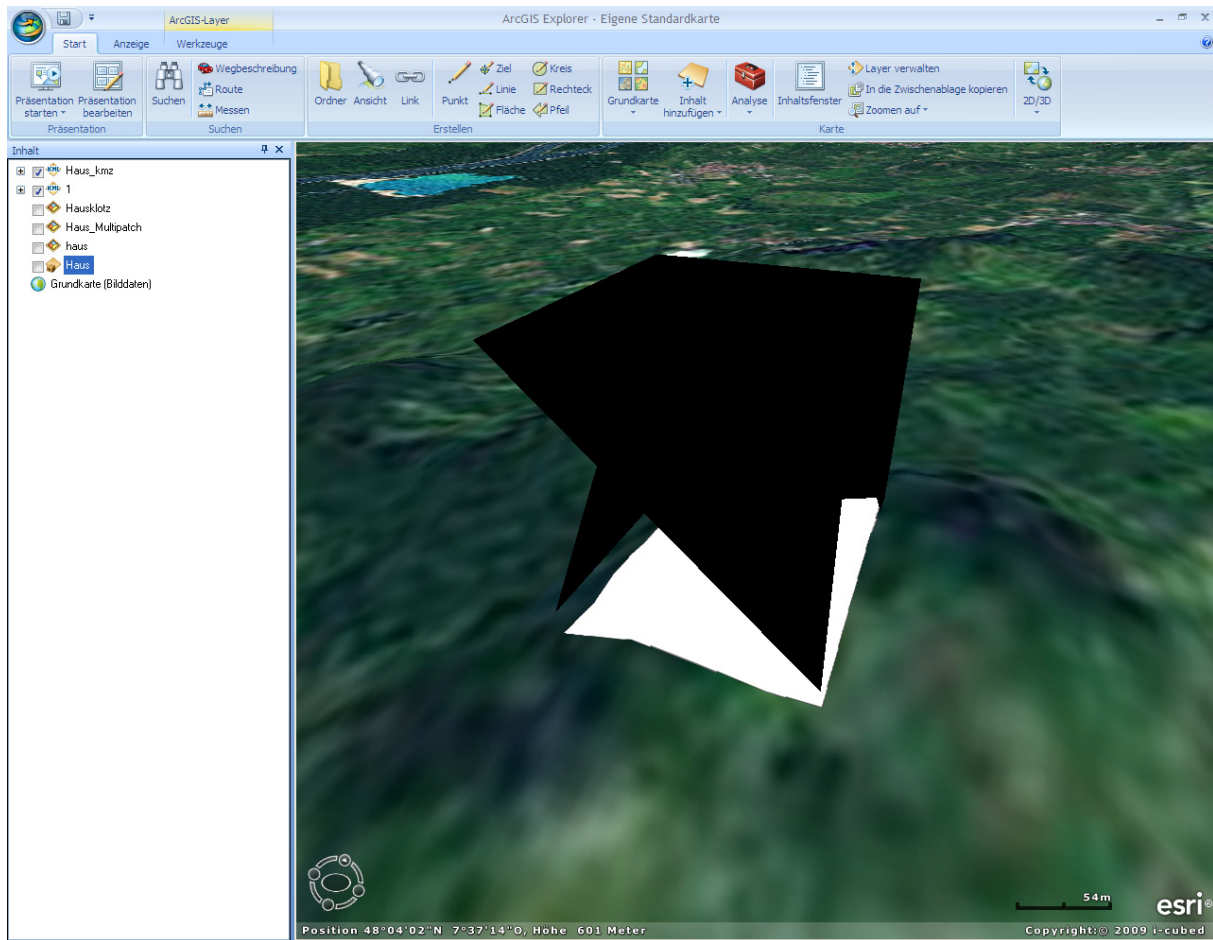


Abbildung 10: Fehlerhafte KML-/ Collada-Objektdarstellung in ArcGIS Explorer

Abbildung 10 zeigt eine KML-Datei, welche aus einem in ArcScene mit 3D-Eigenschaften modifizierten Multipatch erstellt ist (über 3D-Analyst Conversion-Werkzeug *Layer to KML*). Diese wird leider nicht dreidimensional dargestellt (weiße Fläche). Außerdem kann die KML-Datei aus einem Collada-Dateiordner geöffnet werden, weist jedoch eine fehlerhafte Darstellung auf (schwarzes Objekt).

4. Datenformate zur Datenübertragung dreidimensionaler Szenen und Objekte

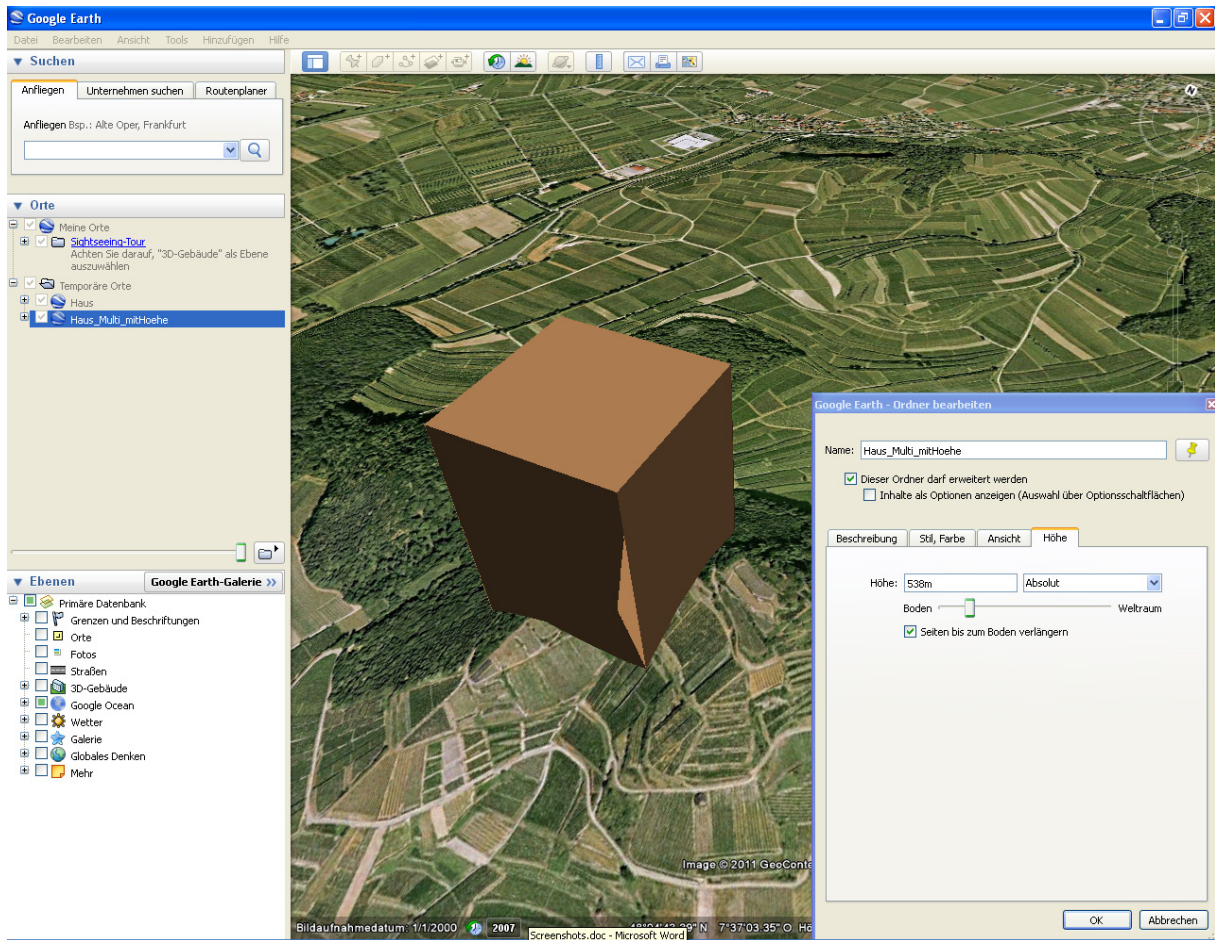


Abbildung 11: KML in Google Earth

Wird die aus dem Multipatch erstellte KML-Datei in Google Earth geöffnet, zeigt sich der eigentliche Hausklotz lediglich als ein auf die Erdoberfläche drapiertes Polygon. Unter den Einstellungen der Ebene kann eine Höhe eingestellt werden, welche dieses Polygon sozusagen extrudiert (Abb. 11), was jedoch nicht das gewünschte Ergebnis ist, da es von vornherein als 3D-Objekt dargestellt werden sollte.

4. Datenformate zur Datenübertragung dreidimensionaler Szenen und Objekte

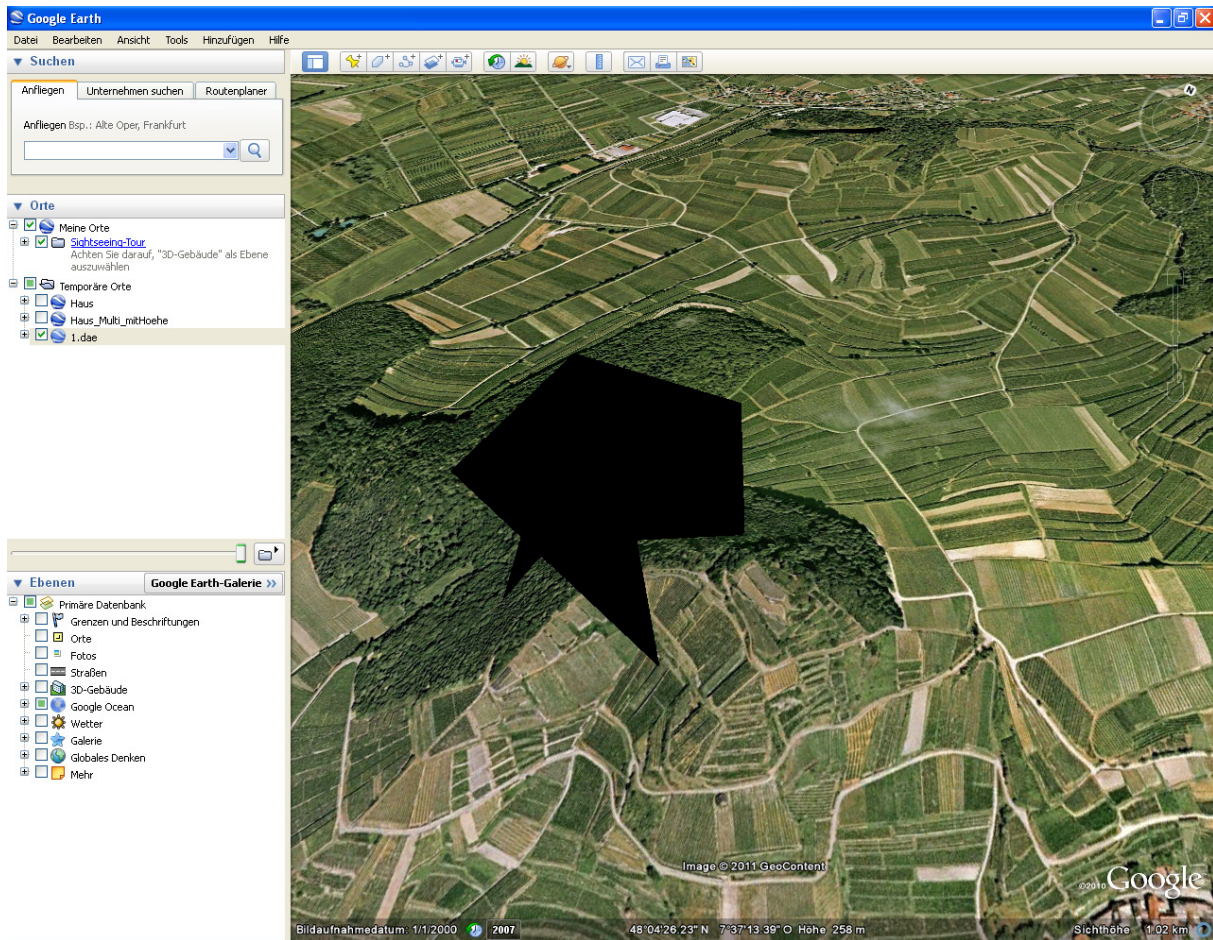


Abbildung 12: Collada in Google Earth

Ebenfalls kann auch eine Collada-Datei in Google Earth als Collada-Modelldatei geöffnet werden, welche zwar von vornherein als dreidimensionales Objekt dargestellt wird, aber leider ebenfalls Fehler in der Darstellung aufweist (siehe Abb. 12).

Wie gezeigt, ist jedes Datenformat mit kleinen und größeren Mängeln belastet. Jedoch zeigt sich das KML-Format als durchaus verwendbar für eine Datenumwandlung in diesem Projekt, da über dieses auch eigens erstellte Gebäude in Google SketchUp eingebunden werden können. Abgesehen von einigen kleinen Darstellungsfehlern ist es das einzige Format, welches in fast jedem Viewer zum Import angeboten wird. Somit zeichnet sich KML als universelles Datenformat aus und kann für weitere Betrachtungen in den Arbeitsablauf einbezogen werden.

5. ANWENDUNGEN ZUR 3D-VISUALISIERUNG

Der Paradigmenwechsel der Kartographie ist geprägt durch einen Wandel in der Verwendung "vom analogen zum virtuellen Globus"⁶⁷. Zur „Darstellung der digitalen Erde und Visualisierung raumbezogener Daten“⁶⁸ werden sogenannte Earth Viewer verwendet. Diese werden im Allgemeinen kostenlos für die Anwender zur Verfügung gestellt und sind sozusagen eine Grundversion der eigentlichen Programme. Immer mehr repräsentieren Earth Viewer eine alternative Möglichkeit zum herkömmlichen Desktop-GIS oder Internet-GIS, da diese besser für eine problemlose und anschauliche Visualisierung geeignet sind. Zu unterscheiden sind zwei Systemarten: Browser-basierte Web-Mapping-Anwendungen, welche im „Standard-Internet-Browser ihre Anwendung“⁶⁹ finden. Solche Browser-basierten Anwendungen sind z.B. Google Maps oder Microsoft Bing Maps. Zudem sind sie auf Grund ihrer Web-Browserabhängigkeit und der damit verbundenen mangelnden Kontrollierbarkeit eher eingeschränkt. Weiterhin gibt es die Client-basierten Systeme, welche eine Programminstallation auf dem Rechner des Clients beinhalten und somit als "selbstständige Programme"⁷⁰ bezeichnet werden können. Daten werden in diesen Programmen dargestellt und Funktionen durchgeführt. Beispiele für diese Systeme sind Google Earth, Microsoft Bing Maps 3D oder Skylinesoft Terra Explorer. Die unterschiedlichen Datenquellen für die Earth Viewer kommen von verschiedenen Anbietern, wie Tele Atlas, Terra Metrics oder Digital Globe um hier nur einige zu nennen. Diese können lokal oder online verfügbar gemacht werden. Online-bezogene Anwendungen sind dem Client-Server-Modell gleichzusetzen und werden am häufigsten verwendet. Zudem werden Urheber- und Nutzungsrechte „dynamisch eingeblendet“⁷¹ oder darauf verwiesen. Die virtuellen Globen werden in unterschiedlichen Bereichen, wie beispielsweise der Bildung, Forschung oder sogar im Katastrophenmanagement, eingesetzt und sind demzufolge heutzutage zu einer Art "Alltagsgegenstand"⁷² geworden, da ihre einfache Handhabung "einer breiten Öffentlichkeit die Erschließung von unterschiedlichen Geoinformationen"⁷³ bietet. Bei Schweikart et al. werden z.B. die 3D-Darstellung, der problemlose Transport digitaler Daten über das Internet, die Skalierbarkeit durch beliebig wählbare Maßstäbe, Interaktivität oder die Auswahl vieler verschiedener Nutzer als Hauptgründe für den Erfolg von virtuellen Globen genannt. Im weiteren Verlauf werden nun die wichtigsten Earth-Viewer näher betrachtet und in einer Gegenüberstellung für die Verwendung in der Fachanwendung der Grundwasserdatenbank Baden-Württemberg

⁶⁷ Schweikart, Pieper, & Schulte, 2009, S. 129

⁶⁸ Bill, 2010, S.247

⁶⁹ Bill, 2010, S.247

⁷⁰ Schweikart, Pieper, & Schulte, 2009, S. 131

⁷¹ Bill, 2010, S.247

⁷² Schweikart, Pieper, & Schulte, 2009, S. 129

⁷³ Jobst, 2009, S. 181

analysiert und bewertet. Auf Grund dieser Bewertung lässt sich die endgültige Entscheidung zur Verwendung einer dieser Viewer für die Darstellung der Ergebnisse in der Fachanwendung der Grundwasserdatenbank begründen.

5.1. Google Earth

Die Anwendung Google Earth ist ein Client-basiertes „geschlossenes System“⁷⁴ und muss dementsprechend von der Google Internetseite heruntergeladen werden. In diesem Browser wird die Erde abgebildet und es ist eine universelle Schnittstelle für jede Informationsart enthalten, die einen geographischen Bezug hat. Man kann Google Earth mit Google Maps und weiteren Werkzeugen von Google verbinden. Entstanden ist diese Anwendung aus dem Keyhole Earth Viewer der Firma Keyhole Corp., Kalifornien. 2004 wurde die Firma von Google Inc. übernommen. Zusätzlich entwickelte die Firma Keyhole die Beschreibungssprache KML. Google Earth ist weitverbreitet und hat nach Pomaska eine gewisse „Massentauglichkeit“⁷⁵ erreicht. Demzufolge ist es für den Webeinsatz hervorragend geeignet. Über Google Earth sind „performant georeferenzierte Geländemodell- und Kartendaten, Karten- und Bilddaten über das Internet lokal und frei“⁷⁶ verfügbar. Luftbilder in einer sehr hohen Auflösung (bis zu einem Meter) decken etwa ein Viertel der Erdoberfläche ab. Die Bilddaten sind in den unterschiedlichen Versionen von Google Earth (kostenlose Standardversion und kostenpflichtige Pro-Version) gleich und stammen aus Satelliten- und Flugzeugaufnahmen. Es wird eine mittlere Auflösung der Bilder verwendet. Jedoch werden in Ballungsräumen höhere Auflösungen genutzt. Zudem wird eine Zylinderprojektion im Bezugssystem WGS84 für die Anzeige und Koordinateneingabe eingesetzt. Alle Daten unterliegen einer ständigen Aktualisierung. Suchfunktionen werden ebenfalls bereitgestellt und bieten dem Anwender ein breites Spektrum an Möglichkeiten zum Auffinden von interessanten Punkten, Städten, etc. oder beispielsweise zum Routing. Weiter Funktionen, wie eine Shapefile-Konvertierung für GIS-Programme, können jedoch nur in den kostenpflichtigen Versionen von Google Earth verwendet werden. Nebenbei sind in Google Earth 3D-Modelle aus Google SketchUp-Dateien importierbar, die jeder Anwender selbst erstellen kann. Der Import von GIS-Daten, wie z.B. Shapefiles, ist leider nur in der Pro-Version von Google Earth möglich, daher muss für die lizenzfreie Anwendung die Datenumwandlung ins KML-Format abgewogen werden.

⁷⁴ Pomaska, 2007, S.85

⁷⁵ Pomaska, 2007, S.85

⁷⁶ Bill, 2010, S.248

5. Anwendungen zur 3D-Visualisierung

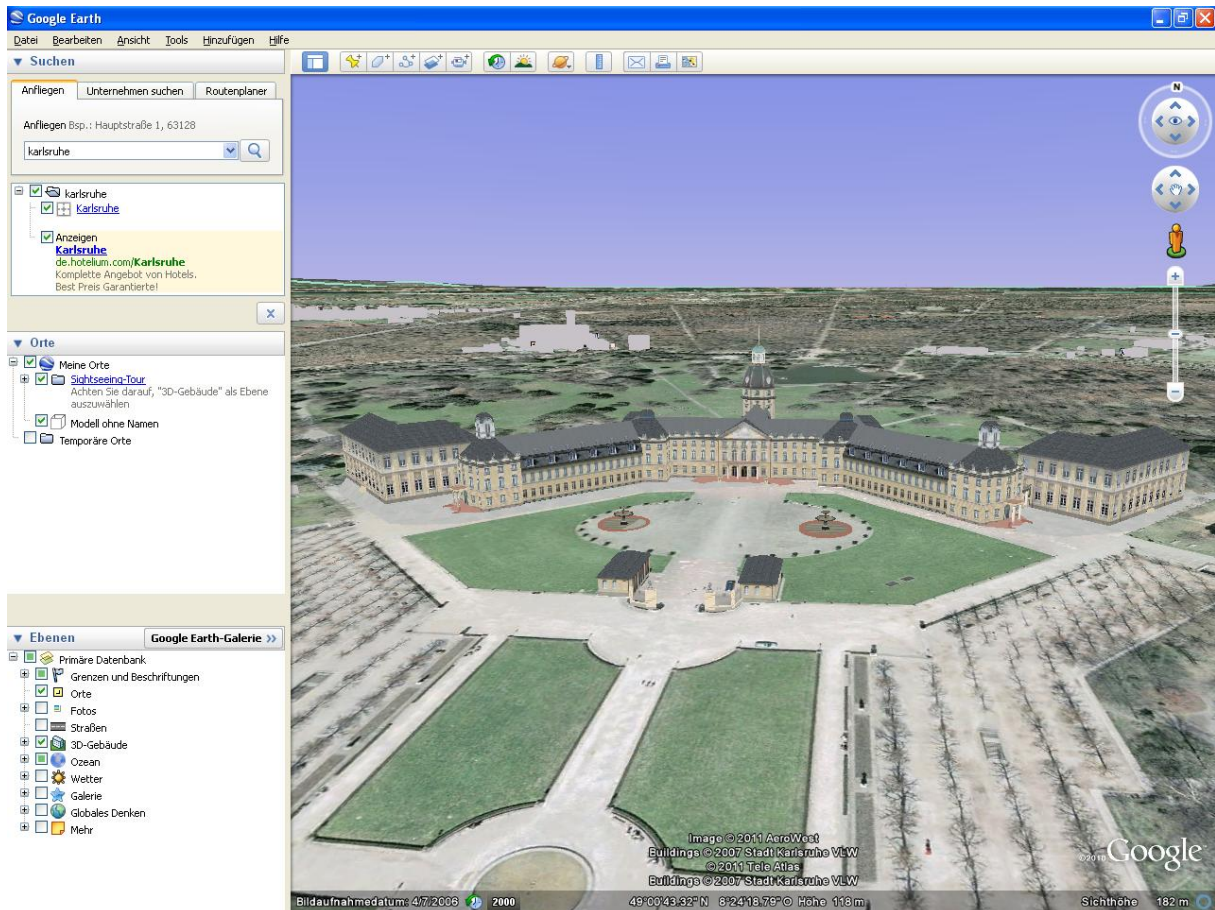


Abbildung 13: Google Earth 3D-Ansicht vom Karlsruher Schloss

Abbildung 13 zeigt den grundlegenden Aufbau des Programms. Links befindet sich eine Seitenleiste, in der beispielsweise die Suchfunktion schnell verwendet werden kann oder die Ebenen ein- bzw. ausgeblendet werden können. Im Hauptfenster befindet sich zusätzlich die Navigation zum Zoomen, Drehen und Schwenken. Zudem ist über diese in die 3D-Ansicht zu gelangen und über das „Männchen“ kann in die Street-View-Ansicht gewechselt werden. Die Symbolleiste im oberen Bereich dient zur Bearbeitungsanalyse, z.B. für Streckenmessungen.

5.2. Microsoft Bing Maps 3D/ Virtual Earth 3D

Seit 2006 ist Bing Maps auch mit einer 3D-Funktion verfügbar. Hierfür muss auf dem Rechner des Clients ein Plug-In installiert werden, um die 3D-Darstellung im Browser ausführen zu können. Der Browser-basierte Kartenviewer von Microsoft, auch als Virtual Earth 3D bekannt, ist eine frei zugängliche Anwendung. Herausragend ist der Blickwinkel in Vogelperspektive. Dabei benötigt der Nutzer des „Bird’s Eye Images“ kein zusätzliches Silverlight Plug-In mehr.

5. Anwendungen zur 3D-Visualisierung

In der 3D-Ansicht können Gebäude und Sehenswürdigkeiten dreidimensional abgebildet werden. Dabei sind auf einem DGM „Satelliten-, Luftbilder oder Straßenkarten“⁷⁷ eingebunden und werden virtuell auf dem Globus dargestellt. Durch „texturierte Gebäudeoberflächen“⁷⁸, die in Bing Maps 3D gehäuft verwendet werden, reichen die dreidimensionalen Stadtmodelle noch näher an die Realität heran, was einen realistischen Eindruck verstärkt.

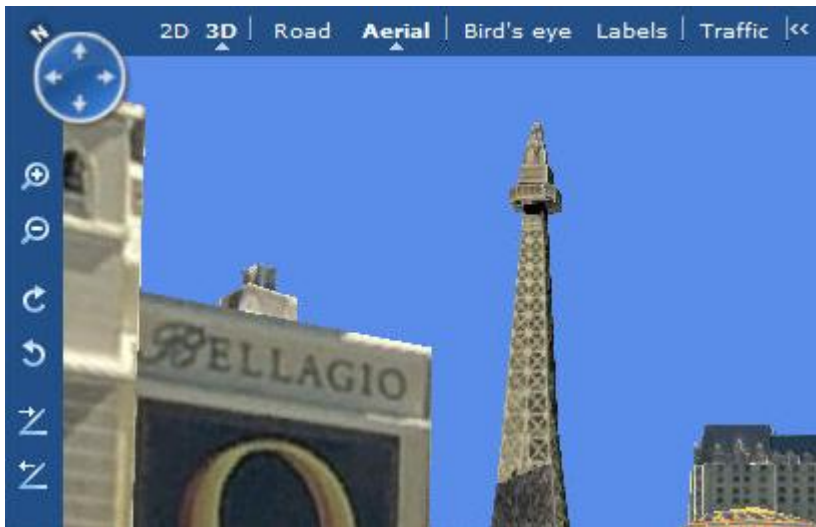


Abbildung 14: Navigationsleiste im alten Bing Maps 3D

Der Ausschnitt in Abbildung 14 demonstriert die Navigations- und Menüleiste von Bing Maps 3D. Neben Zoom, Drehen und Winkeleinstellung der 3D-Ansicht ist die Auswahl von unterschiedlichem Kartenmaterial möglich.

Leider existiert die dreidimensionale Version von Bing Maps seit 2010 nicht mehr, da sich Microsoft mehr auf die Darstellung in Vogelperspektive konzentrieren möchte (vgl. Quelle⁷⁹).

5.3. ArcGIS-Produkte

Die ArcGIS-Produkte der Erweiterung 3D-Analyst ArcGlobe und ArcScene sind hauptsächlich in dieser Arbeit verwendet worden und daher sollten ihre Funktionalitäten, Verwendungen und grundlegenden Unterschiede kurz erläutert werden.

⁷⁷ Bill, 2010, S.249

⁷⁸ Bill, 2010, S.249

⁷⁹ <http://alastaira.wordpress.com/2011/04/11/an-unlikely-replacement-for-the-bing-maps-3d-control/> oder http://www.gearthblog.com/blog/archives/2010/11/bing_maps_is_dropping_their_3d_vers.html

5.3.1. 3D-Analyst

Mit der Erweiterung des 3D Analyst von ArcGIS werden Werkzeuge zur 3D-Erstellung, 3D-Visualisierung und 3D-Analyse von GIS-Daten bereitgestellt. So können über die zwei 3D-Visualisierungsanwendungen ArcGlobe Geodaten auf einem Globus bzw. in ArcScene "innerhalb einer planimetrischen 3D Ansicht"⁸⁰ dargestellt werden. Unterschiedliche Analysefunktionen, wie beispielsweise dreidimensionale Entfernungen zwischen zwei Gebäuden oder Abfragen wie Neigungs- und Ausrichtungsberechnungen von Oberflächen, werden bereitgestellt. Zudem können 3D-Modelle, z.B. SketchUp-Dateien, importiert und 3D-Vektoren bearbeitet und verwaltet werden.

5.3.2. Gegenüberstellung von ArcScene und ArcGlobe

Mit den beiden ArcGIS-Erweiterungen ArcScene und ArcGlobe ist es möglich 2D- und 3D Daten in einem dreidimensionalen Raum darzustellen und diese visuell aufzubereiten sowie Analysen mit den Geoverarbeitungswerkzeugen von ArcGIS oder Animationen durchzuführen. Mit der Anwendung ArcGlobe ist die Handhabung und Nutzung aller Informationen komplexer Daten gewährleistet. Aufgrund der Globusdarstellung werden die Daten an ihrem exakten geodätischen Standpunkt gezeigt. Eine Globusbearbeitung sowie anschließende Überprüfungen und Analysen sind möglich. Dagegen ist ArcScene mehr für kleinere Gebietsansichten geeignet. Es können dreidimensionale Geodaten einfach erstellt, verwaltet und analysiert werden. Außerdem ist eine Erzeugung von 3D-Daten aus 2D-Daten durchführbar. In beiden Erweiterungen gibt es erhebliche Unterschiede, die in Tabelle 3 gegenüber gestellt werden.

	ArcScene	ArcGlobe
3D-Datentypunterstützung	<ul style="list-style-type: none"> TIN Raster 	<ul style="list-style-type: none"> TIN Raster Terrain
Projektion	<ul style="list-style-type: none"> meist planar → keine räumlichen Datasets 	<ul style="list-style-type: none"> Würfelprojektion on-the-fly-Projektion Daten ohne Projektionsinformation nicht darstellbar → globaler Maßstab visualisiert große Datasets
Analyse	<ul style="list-style-type: none"> 3D Analyst vollständig integriert → besser für Analyse geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> 3D Analyst stehen zur Verfügung
Navigation	<ul style="list-style-type: none"> Gut, einfach über Maus 	<ul style="list-style-type: none"> Gut, einfach über Maus
Anzeige	<ul style="list-style-type: none"> von Raster und Vektor gut Drapierte Layer werden über Höhenquelle gelegt (randfrei) 	<ul style="list-style-type: none"> Von Raster und Vektor gut KML Drapierte Layer werden über Höhenquelle gezogen

⁸⁰ <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/#/na/00q8000000ww000000/>

5. Anwendungen zur 3D-Visualisierung

Export	<ul style="list-style-type: none"> • Terrain zu TIN/Raster • 2D: ai, EMF, EPS, PDF, SVG, BMP, JPG, TIFF, PNG, GIF • 3D: VRML 	<ul style="list-style-type: none"> • 2D: AI, EMF, EPS, PDF, SVG, BMP, JPG, TIFF, PNG, GIF
Import	<ul style="list-style-type: none"> • VRML 	<ul style="list-style-type: none"> • VRML
Ansicht	<ul style="list-style-type: none"> • Stereo-Ansicht unterstützt →bessere 3D-Visualisierung →zusätzliche Tiefe, realistischer • Dynamische Schummerung 	<ul style="list-style-type: none"> • Caching von großen Datenvolumen • Vektordaten gerastert auf Oberflächen-Layer od. als Vektor-Layer rendern
Vektoren	<ul style="list-style-type: none"> • Bleiben im nativen Format • Unabhängig von Rasteroberfläche 	<ul style="list-style-type: none"> • Vektorenlayer gerastert anzeigbar • Annotation-Feature-Classes durch Rendering
Vorteil	<ul style="list-style-type: none"> • einfache Layerverwaltung • 3D-Analyst Werkzeugleiste • Darstellung von Daten ohne Projektion • Rendering von Daten unterhalb der Oberfläche, Volumendaten sehr gut • Bessere für Analyse • Keine Annotation-Feature-Classes 	<ul style="list-style-type: none"> • Erstellung Globe-Dokument für Globe-Service • Verwendung von ArcGIS Server-Services • Daten-Caching • gute Leistung Navigation und Anzeige von Raster- und Vektordaten hoher und niedriger Auflösung
Nachteil	<ul style="list-style-type: none"> • kein Terrain unterstützt • kein Globe-Dokument erstellbar • keine Verwendung von ArcGIS Server-Services • kein Caching großer Datenvolumen 	<ul style="list-style-type: none"> • nur Multipatches zur Darstellung dreidimensionaler Objekte ohne zusätzliche Bearbeitung (Extrusion) • 2D-Features standardmäßig gerastert und drapiert • Floating-, Draping-, Elevation-Layer machen Darstellung schwieriger als in ArcScene • unschöne Ränder bei Drapierung • keine 3D-Analyst Werkzeugleiste • nicht projizierte Daten werden nicht dargestellt

Tabelle 3: Gegenüberstellung ArcScene und ArcGlobe

5.3.3. ArcGIS Explorer

Der ArcGIS Explorer ist wohl der für diese Arbeit interessanteste Viewer. Er „ist ein kompakter Desktop Client für ArcGIS Server“⁸¹. Der ArcGIS Explorer stellt einen Viewer für räumliche Informationen dar. Er kann kostenlos von ESRI gedownloadet werden. Weiterhin können „Dienste von ArcIMS, Web Map Services (WMS) und anderen Web Diensten“⁸² genutzt werden. Über den ArcGIS Explorer ist es möglich Geodaten, -dienste und Web Services zu öffnen, zu visualisieren und analysieren. Zudem können „lokale Daten aus Shapefiles, File-Geodatabases oder in den Formaten KML, JPEG2000, GeoTIFF, MrSID, IMG und andere Rasterformate“⁸³ interpretiert und dargestellt werden. Über die Funktionen von ArcGIS Server, sowie die Geoverarbeitungswerkzeuge und dreidimensionale

⁸¹ <http://www.esri-germany.de/products/arcgis/explorer/index.html>

⁸² <http://www.esri-germany.de/products/arcgis/explorer/index.html>

⁸³ <http://www.esri-germany.de/products/arcgis/explorer/index.html>

5. Anwendungen zur 3D-Visualisierung

Darstellung, kann mittels ArcGIS Explorer „die volle Leistungsfähigkeit serverbasierter Geoverarbeitung an einem Desktop Klienten“⁸⁴ genutzt werden. Außerdem können mit sogenannten Tasks GIS-Funktionalitäten von Seiten eines Servers, wie beispielsweise Sichtbarkeitsanalysen, Modellierung oder Umgebungssuche, verwendet werden. Zusätzlich ist es möglich, dass Ergebnisse über ArcGIS Online veröffentlicht und ausgetauscht werden. Weiterhin wird ein sicherer Verbindungszugriff auf eigene Unternehmensdaten gewährleistet.

5.4. XNavigator

Der XNavigator ist eine interaktive Anwendung für den Desktop oder einen Browser zur Darstellung dreidimensionaler Inhalte, wie virtuelle Städte und Landschaften, und wurde vom Fachbereich für Geographie der Universität Bonn und der kartographische Arbeitsgruppe der Universität Heidelberg als Forschungsarbeit entwickelt. Er entstand innerhalb eines Projekts von OSM-3D.org und "im Umfeld des Forschungsprojektes Geodateninfrastruktur-3D eine Earth-Viewer-Plattform auf Basis von Open-Street-Map (OSM)-Daten und -Diensten"⁸⁵. Der Viewer baut auf Java-Technologie auf und kann unter Windows, MacOS X und Linux verwendet werden. Durch die verwendete Java-Technologie ist eine einfache Integration in Webseiten oder Online-Portale gewährleistet. Die 3D-Gaphik basiert auf OpenGL. Außerdem nutzt die Client-Server-Architektur die Standards der OGC, um Zugriff auf die räumlichen Informationen über das Internet zu garantieren. Der gesamte 3D-Inhalt wird dabei als 3D-Szenengraph über ein Web 3D Service (W3DS) heruntergeladen. Die beiden Versionen für Desktop und Browser unterscheiden sich nur minimal voneinander. Die Startansicht und Bedienung der Navigation der Desktop-Version ist der des Browsers gleich. Nur in der Funktionalität gibt es einige Differenzen. Die Desktop-Anwendung bietet wesentlich mehr Werkzeuge und Analysefunktionen. Solche sind z.B. Überlagerung von Luft- und Satellitenbilder, Atmosphären- und Tageszeitsimulation oder 3D-Flüge. In der Registerkarte für die Ebenen können weitere Informationen über Checkbuttons eingeblendet werden, wie Restaurants, Gesundheitswesen, Geschäfte oder Bildungsstätten. Funktionen für ein Routing mit Auto, Fahrrad oder zu Fuß sowie Adress- oder Umkreissuchen sind möglich.

⁸⁴ <http://www.esri-germany.de/products/arcgis/explorer/index.html>

⁸⁵ wiki.openstreetmap.org, 2011, S. 17

5. Anwendungen zur 3D-Visualisierung

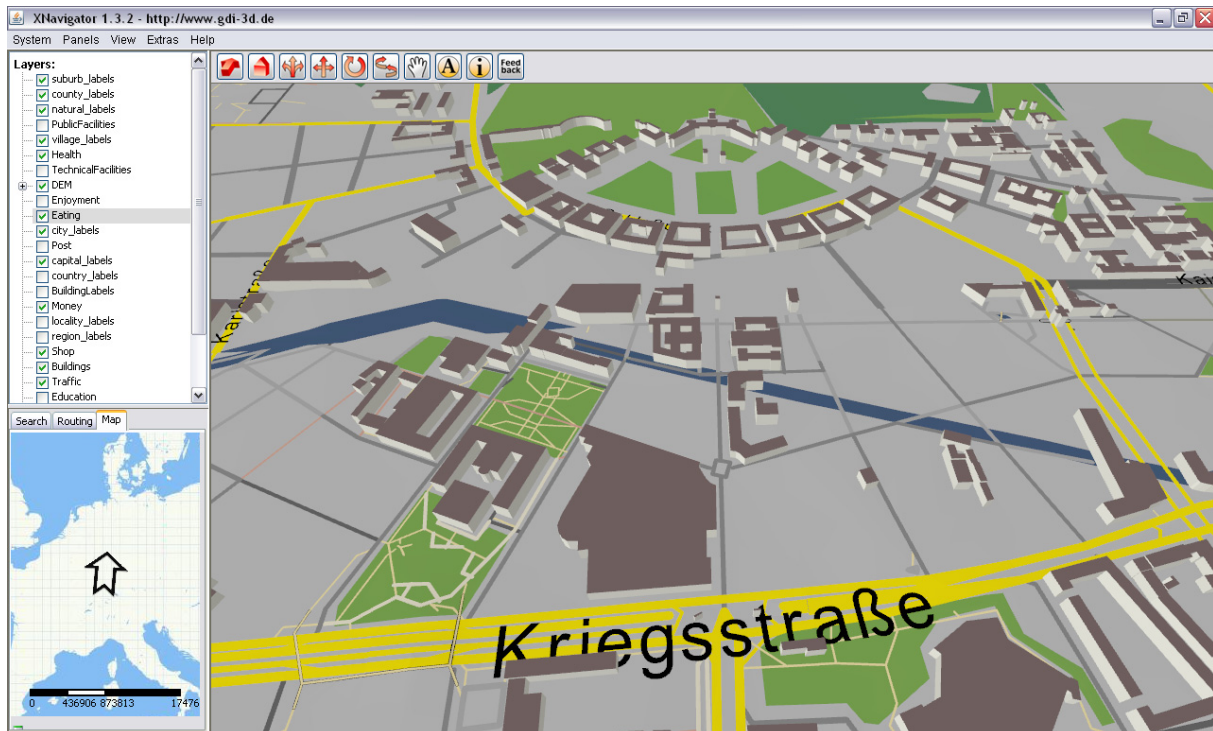


Abbildung 15: XNavigator 3D-Ansicht auf Karlsruhe

Zudem ist eine Übersichtskarte einblendbar. Die Navigationsleiste ist im oberen Bereich der Abbildung 15 zu sehen. Jedoch wird über Maus oder Tastatur-Befehle gezoomt, gedreht oder geschwenkt. In der Fachzeitschrift GIS.Business wird erwähnt, dass dieser Viewer keine Konkurrenz für andere Earth-Viewer darstellt, sondern eher als Perspektive für angehende standardisierte 3D-Diensteintegration gelten soll.

5.5. NASA World Wind

NASA World Wind wurde 2004 als Open Source Software vom NASA Ames Research Center entwickelt. Die Lauffähigkeit auf jedem PC mit guter Graphikkarte für eine optimale 3D-Darstellung war Grundvoraussetzung für die Erstellung des Programms. Derzeit besteht die aktuellste Version seit Februar 2007. Mit ihr können Satelliten- und Luftbilder auf einem dreidimensionalen Globus in Kombination mit Höhendaten angezeigt werden. Es ist möglich von der Satellitenansicht zu jedem beliebigen Ort auf der Erde heran zu zoomen. Hierfür werden Land-Sat-7-Bilder mit einer Auflösung von 15m pro Pixel und Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)-Höhendaten verwendet, wodurch dreidimensionale Ansichten aus jeder Richtung in Augenhöhe möglich sind. Dadurch können die Daten in einer dreidimensionalen Darstellung visualisiert werden. Besonders wurde bei der Entwicklung der Software auf einfache Nutzbarkeit für jede Altersgruppe Wert gelegt, sodass jedermann mit World Wind arbeiten kann. Zur Navigation wird lediglich eine Maus mit zwei Tasten benötigt, mit Hilfe derer gezoomt und gedreht werden kann. Durch das unkomplizierte Menü können Inhalte schnell erfasst und der Nutzer problemlos durch das Programm geführt werden. Laut

5. Anwendungen zur 3D-Visualisierung

NASA World Wind wird die volle Kopie der Blue Marble⁸⁶ verwendet. Diese zeichnet sich durch die spektakuläre Realfarbdarstellung der gesamten Erde aus. Die Auflösung kann durch Kombination mit Satellitenbildern bis zu 1km pro Pixel erreichen. Es können nützliche Funktionen, wie die Ortssuche oder ein Time Controller, mit welchem die Sonnenbewegung oder historische Entwicklungen nachvollzogen werden können, benutzt werden. Diese sind im oberen Bereich unter der Menüleiste zu finden (Abb. 16). Zudem gibt es weitere Werkzeuge, wie beispielsweise zur Abmessung von Strecken, zur Überhöhung des Geländes, einen Ebenenmanager oder auch einen Kompass der leider als einziges Navigationselement die Ausrichtung des Globus anzeigt. Zudem ist es möglich, KML-Dateien zu importieren, WMS-Dienste einzubinden oder Animationen anzusehen (Scientific Visualization Studio). Bei der Funktion *Astrobiology Field Guide* öffnet sich bei bestehender Internetverbindung die NASA Plattform des Web-Browsers zum Weiterlernen. Zudem können Placemarks angezeigt werden. Die Auswahl ist jedoch sehr spärlich.



Abbildung 16: NASA World Wind Globus-Ansicht

⁸⁶ Blue Marble ist die Bezeichnung für ein bekanntes Foto der Erde, welches von der Besatzung der Apollo 17 im Jahr 1972 aus einer Entfernung von 45.000 km aufgenommen wurde.

5. Anwendungen zur 3D-Visualisierung

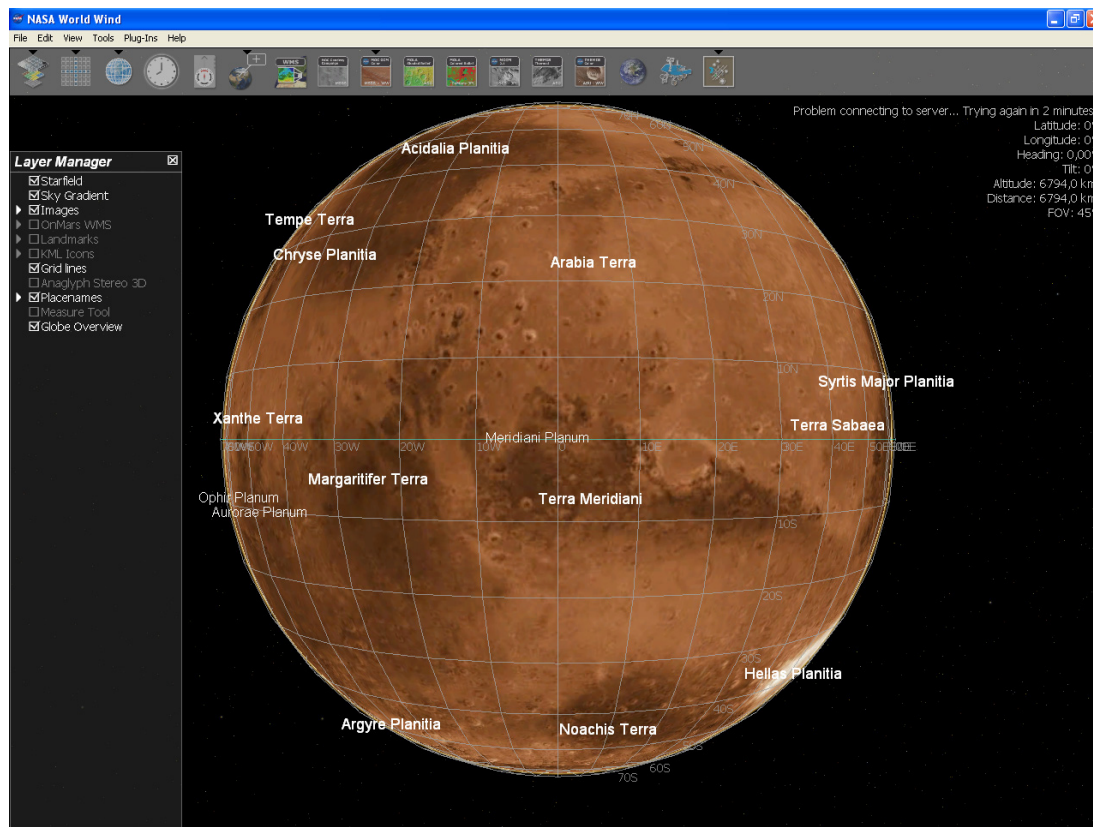


Abbildung 17: Ansicht des Mars in NASA World Wind

Hervorzuheben sind jedoch die zusätzlichen Ansichten von Planeten, wie Mars (Abb. 17), Mond, Jupiter oder der Venus, wodurch der Benutzer in der Lage ist weit entfernte Welten zu erkunden. Weiterhin ist es möglich mit einer Anaglyphenbrille die Erdoberfläche in 3D zu sehen. Entsprechende Anaglyphen 3D-Ansichten können eingeschaltet werden.

5.6. CityViewer

Der CityViewer der Firma 3DIS ist die Standardanwendung für die Darstellung der aus 3D-Map erstellten Stadtmodelle. Zudem ist dieser Viewer als "Basistechnologie zur Entwicklung von Fachanwendungen auf 3D-Stadtmodellen"⁸⁷ gedacht. Dabei visualisiert der CityViewer jede Geometrie der Fachdaten eines Modelles als Gebäude. Hervorzuheben sind die gebäudeübergreifenden Abfragen- und Analysemöglichkeiten, wie beispielsweise eine Selektion nach Gebäudehöhen oder -stockwerken. Zusätzliche Informationen zu Gebäudegeometrie oder Fachdaten sind abrufbar. Grundsätzlich ist der CityViewer ein "Trägersystem"⁸⁸ für Fachmodule. Es kann über eine Programmierschnittstelle auf alle Funktionen zugegriffen werden, wodurch Entwickler neue Fachanwendungen ohne besonderes 3D-Vorwissen erarbeiten können. Der Download vom CityViewer der Firma

⁸⁷ <http://www.3dis.de/cityviewer.html>

⁸⁸ <http://www.3dis.de/cityviewer.html>

5. Anwendungen zur 3D-Visualisierung

3DIS ist kostenlos. Beim Öffnen können im Modellverzeichnis Stadtmodelle aus Nordrhein-Westfalen über ein Verzeichnisbaum oder eine Graphik von Deutschland ausgewählt werden. Es werden Nutzungshinweise zu jedem Stadtmodell beim Laden angezeigt. Die Navigation per Maus ist sehr einfach und intuitiv. Außerdem ist es möglich Modelle mit Overlays (Geometrieobjekte, wie beispielsweise Stadtmobiliar) zu erweitern. So sind z.B. Erweiterungen durch Baumkataster denkbar. Funktionen, wie die Videoaufnahme von Rundgängen bzw. -flügen, Positionierung, Messung von Abständen und Höhen sind aufrufbar. Leider ist die Anwendung noch sehr instabil und stürzt gerne ab. Allerdings ist die Performanz beeindruckend schnell, was auf den Detaillierungsgrad und die Gebäudemenge zurückzuführen ist. Die meisten Gebäude sind im LoD2. Nur wenige sind texturiert im LoD3.

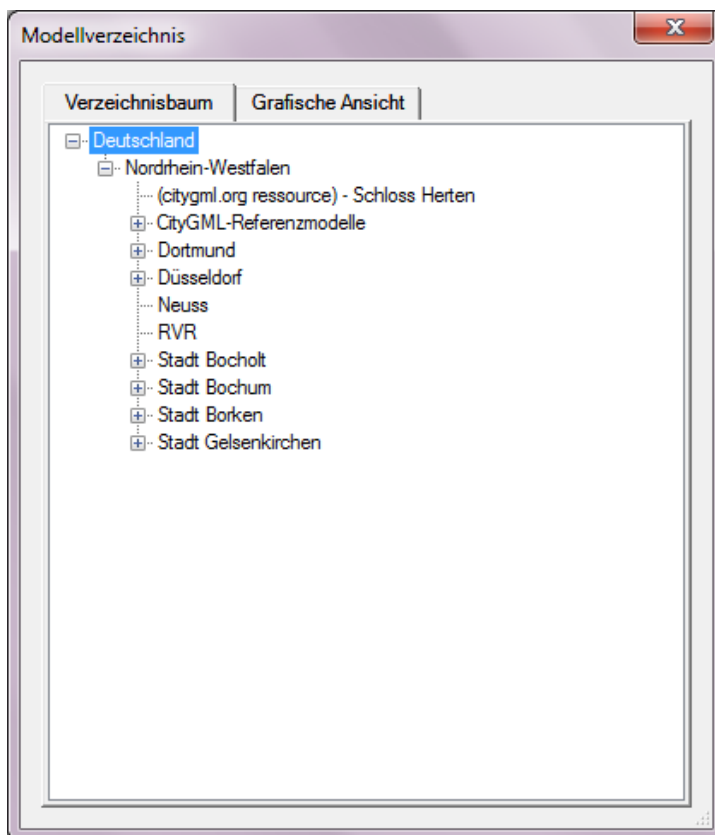


Abbildung 18: Baumverzeichnis der existierenden Modelle im CityViewer

5. Anwendungen zur 3D-Visualisierung



Abbildung 19: Graphische Darstellung der Stadtmodelle in Nordrhein-Westfalen

In den Abbildungen 18 und 19 werden die unterschiedlichen Darstellungen des Modellverzeichnisses aufgezeigt. Entweder kann über einen Verzeichnisbaum (Abb. 18) oder Symbole auf einer Karte (Abb. 19) auf das jeweilige 3D-Stadtmodell zugegriffen werden. In Abbildung 20 kann der allgemeine und sehr schlichte Aufbau des Programms betrachtet werden. Es existiert keine Navigationsleiste. Eine Orientierung ist lediglich über den einblendbaren Kompass möglich. Eine Darstellung der dreidimensionalen Gebäude ist von Abstand abhängig. Je weiter weg, desto weniger Gebäudedetails werden gezeigt. In der Ferne werden sie für ein schnelleres Rendering weggelassen.

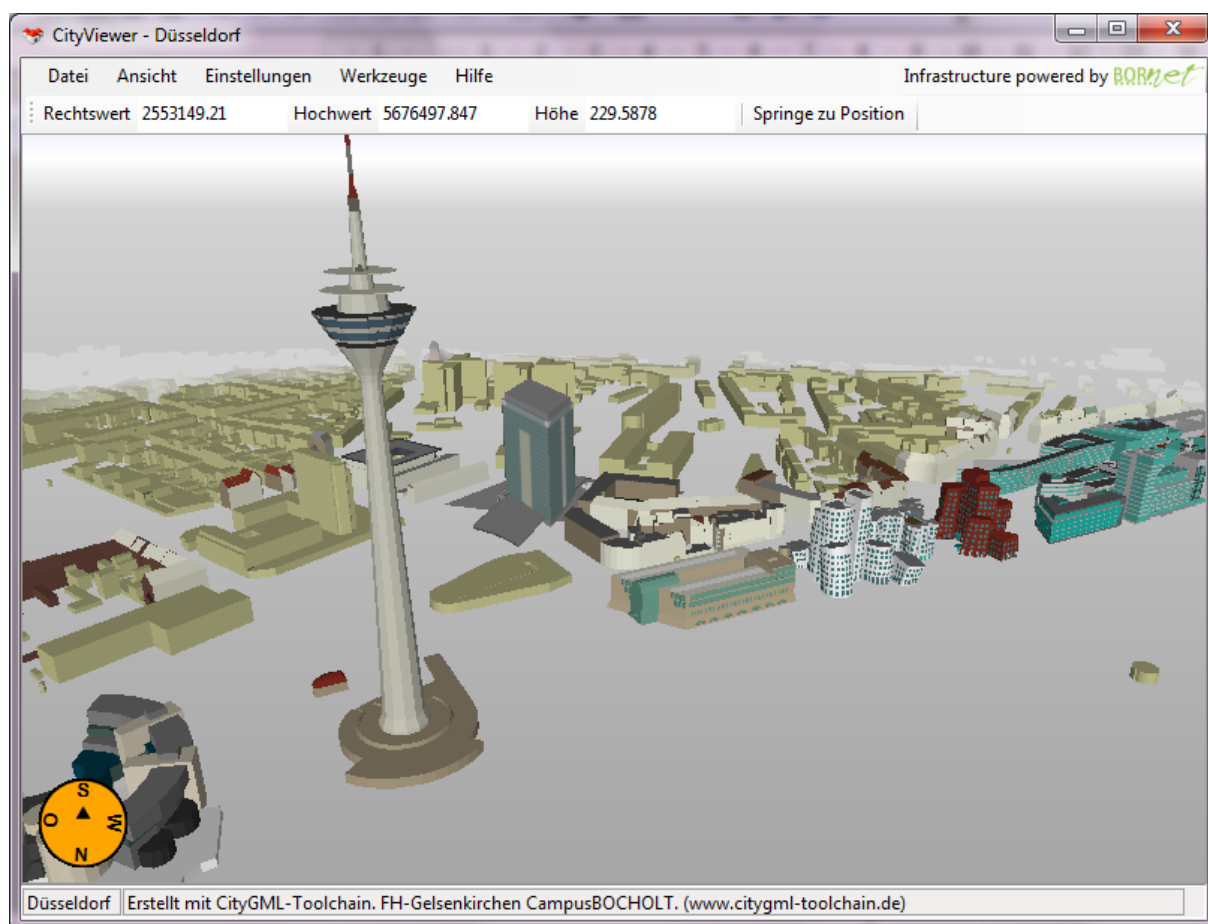


Abbildung 20: CityViewer 3D-Ansicht von Düsseldorf

5.7. Adobe Reader

Die kostenlose und gleichzeitig globale Standardanwendung Adobe Reader ist für den elektronischen Datenaustausch entwickelt worden. Zudem ist es der einzige Viewer mit dem PDF-Dokumente zu öffnen und nutzen sind. Es ist möglich PDF-Inhalte mit diesem Viewer anzuzeigen, zu durchsuchen, unterzeichnen (digital), prüfen, drucken und abzustimmen. Der Adobe Reader ist laut Adobe Systems Incorporated standardmäßig bei den zehn größten Computerherstellern installiert und bietet die reibungslose Darstellung von Daten aus verschiedenen Anwendungen, welche als PDF abgespeichert wurden. Wegen des inzwischen unverzichtbaren Formats PDF ist der Adobe Reader nicht wegzudenken. Somit ist eine gewisse Unabhängigkeit durch die universelle Darstellungsmöglichkeit des Formats gegeben. Selbst im Internet existieren unzählige PDF-Dokumente, die über den Adobe Reader im Browser zu öffnen sind. Wichtige Funktionen sind zunächst die "Unterstützung PDF-basierte[r] Inhalte"⁸⁹ und die Interaktion mit ihnen, Kommentierung bzw. Feedback für andere Nutzer der Dokumente, Formulare Datenspeicherung, direkter Zugriff auf Online-

⁸⁹ <http://www.adobe.com/de/products/reader.html>

5. Anwendungen zur 3D-Visualisierung

Dienste von Adobe, Öffnen und Nutzen von Adobe-Portfolios, welche verschiedene Dateitypen enthalten können oder das Anzeigen von multimedialen Inhalten, die auf der Adobe Flash Technologie basieren.

Um das 3D-PDF noch weiter zu bearbeiten und zusätzliche Funktionen nutzen zu können ist, wie bereits in 4.5. erwähnt, das Programm Adobe Acrobat Pro notwendig. Leider besteht hier ein großer Nachteil, da es kostenpflichtig ist. Trotz alledem werden die für die 3D-Darstellung grundlegenden Eigenschaften kurz erläutert, da sie für die Visualisierung und Analyse der 3D-Szene von Bedeutung sind. Zu erwähnen ist das 3D-Messwerkzeug (Abb. 21), mit dessen Hilfe die Objekte im PDF gemessen werden können. Dabei kann an Kantenpunkten oder Kanten ein Anker verwendet und Messungen von Punkt-zu-Punkt, in Lotrichtung, von radialen Abständen oder Winkeln durchgeführt werden. Zudem können Querschnitte in X-, Y- und Z-Richtung angezeigt und als Ansicht abgespeichert werden. Im Zusammenhang mit den Ansichten können verschiedene Kamerawinkel gesichert werden. Aus diesen ist auch eine Standardansicht auswählbar, welche beim Öffnen des 3D-PDFs gezeigt wird. Weiterhin ist es möglich Kommentare zu Objekten abzuspeichern, um bestimmte Objekte zu beschriften, wie Abbildung 22 zeigt.

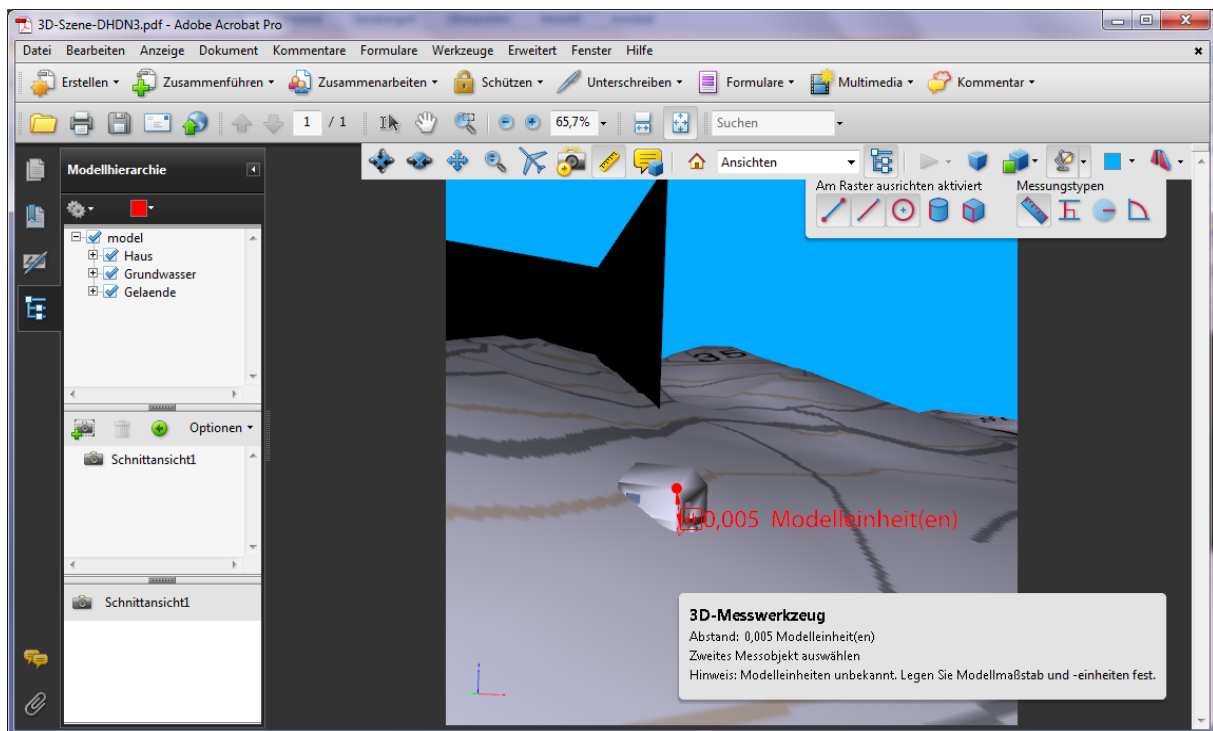


Abbildung 21: Adobe Acrobat Pro - 3D-Messwerkzeug

5. Anwendungen zur 3D-Visualisierung

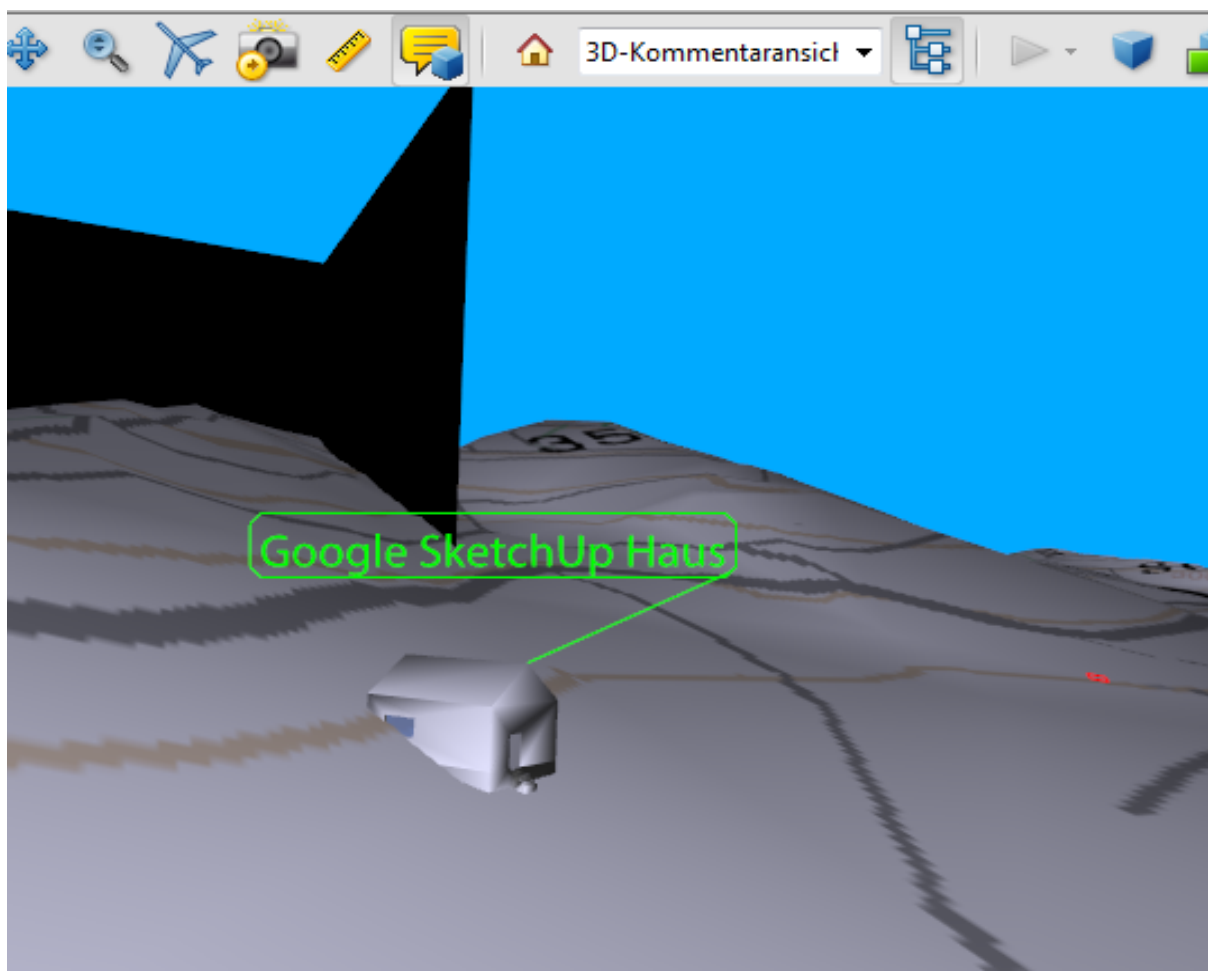


Abbildung 22: Adobe Acrobat Pro - 3D-Kommentar

5.8. Vergleichsanalyse

5.8.1. Tabellarische Gegenüberstellung

	Google Earth	Microsoft Bing Maps 3D/ Virtual Earth 3D	ArcGIS Explorer	XNavigator	NASA World Wind	CityViewer	Adobe Reader
Grunddaten	<ul style="list-style-type: none"> WGS84; Hohe und niedrige Auflösung der Bilder bestes erhaltliches Bildmaterial, Durchschnittsalter 1-3 Jahre keine Echtzeitdaten 	<ul style="list-style-type: none"> Bildmaterial für Schrägbildansicht mit speziellen Flugzeug-Kamera angefertigt; Satelliten- und Luftaufnahmen in hoher Auflösung Mercator Projektion 	<ul style="list-style-type: none"> USGS Serverdaten; NGRS-Koordinaten Gebäude mit hoher und feiner Auflösung 	<ul style="list-style-type: none"> Beruhrt auf OSM-Daten verknüpft mit SRTM-DGM Artiliche Vermessungsdaten und texturierte LOD3 Gebäude-Modelle 	<ul style="list-style-type: none"> Blue Marble next Generation Data, Land Sat 7, USGS, SRTM-Daten 	<ul style="list-style-type: none"> Stadtmodelle im LoD1-4 Nur Daten aus Nordrhein-Westfalen 	<ul style="list-style-type: none"> PDF-Formate U3D Flächenmodell oder ein BREP/Flächenmodell PRC
-Projektion							
-Datenherkunft							
-Genauigkeit/ Auflösung							
Datenformate	<ul style="list-style-type: none"> Google Earth-Dateien wie KML; Bilddateien, wie JPG, PNG, GIF, TIFF, ...; GPS- und Collada-Dateien; GPX und GeoRSS 	<ul style="list-style-type: none"> GPS Tracks Real Time GPS Tracking-Daten KML, GPX und GeoRSS 	<ul style="list-style-type: none"> ARCIMS, WMS, ArcGIS Server Dienste Daten aus Excel-Tabelle; ESRI-Shapefiles, ArcGIS Online, -Layer; KML; Rasterdaten, Geodatabase-Files; GPS-Daten; Textdaten, Bildoverlays Dateiformat .nmf über Editor zu öffnen 	<ul style="list-style-type: none"> Import von CityGML, GML, VRML 2.0 und Java3D Binar URL Verbindung zu WFS 	<ul style="list-style-type: none"> KML; Shapefile, ZIP, XML-Dateien WMS-Dienste 	<ul style="list-style-type: none"> 3D-Stadtmodelle über Modellverzeichnis oder URL 	<ul style="list-style-type: none"> PDF-basierte Inhalte Export von XML und CSV der Ebenenhierarchie
-Import							
-Export							
Navigation	<ul style="list-style-type: none"> Navigation über Navigationselement, Tastatur od. Maus möglich einfach, intuitiv, schnell Ansichtverschiebung Driften über die Erde Drehen und Neigen Zoom Navigationselemente (Schieberegler) 	<ul style="list-style-type: none"> Navigation über Navigationselement, Tastatur od. Maus möglich einfach, intuitiv, schnell 3D-Ansichten lassen sich drehen, zoomen und kippen 	<ul style="list-style-type: none"> Navigation über Navigationselement, Tastatur od. Maus möglich einfach, intuitiv, schnell 	<ul style="list-style-type: none"> Erklärung vorhanden nur mit Maus und Tastatur Menüleiste maßstabsabhängige Informationsanzeige Fly, Map, Bird, Examine 	<ul style="list-style-type: none"> schnell, einfach, gewöhnungsbedürftig (nicht über Mausrad gedreht/geschwenkt wird sondern über rechte Maustaste) Nur über Tastatur oder Maus 	<ul style="list-style-type: none"> einfach, intuitiv Über Maus, Tastatur Bedienungshinweise im Programm enthalten 	<ul style="list-style-type: none"> schnell, einfach, intuitiv Drehen, Zoomen oder Verschieben mit Maustaste
-Zoom							
-3D							
-Drehen/ Schwenken							
-Bedienung							
Funktionen	<ul style="list-style-type: none"> Suche Routenplaner Ebenen mit Zusatzinformationen (Grenzen, Beschriftung, Fotos, 3D-Gebäude, Wetter, etc.) Sightseeing-Tour; Werkzeuge zu Flugsimulation, Lineal, GPS Hinzufügen von Graphiken, Fotos, Bildoverlays, Ortsmarken; Netzwerk-Link Inhalte per E-Mail austauschbar Drucken Höhenverstärkung einstellbar 	<ul style="list-style-type: none"> Routenplaner und Übertragung auf Navigationssystem im Auto Google Earth Videoaufnahme Mitschneiden der Touren in HD-Auflösung von 1920 x 1080 Pixel Drucken 	<ul style="list-style-type: none"> Überhöhung Einbindung von Geoverarbeitungs-werkzeugen Inhalte per E-Mail austauschbar Pufferung Messen Routing Wegbeschreibung Suche Erstellung von Präsentationen, eigene Objekte (Pfeile), Links Drucken GIS-Analysen mithilfe von Tasks Animation 	<ul style="list-style-type: none"> Routing Einbau in HTML-Seite Objektanzeige Adressuche ausführliche Beschreibung des Routings Umkreissuche nach Kriterium 	<ul style="list-style-type: none"> Messen Überhöhung Kompass Zeiteinstellung (= Time Controller für Historie, Sonnenbewegung) Ebenenmanager WMS Browser Erdbebeninformationen Suchfunktion 3D-Modus mit Stereobrille ansehen 	<ul style="list-style-type: none"> Overlay Position Gebäude-ID Messwerkzeug (Gebäudehöhenmessung) Gebäudeentfernung 	<ul style="list-style-type: none"> Seit Version 8.1 beide Formate anzeigen, animieren, schneiden oder auch messen direktes Öffnen und Bedienung Zeichnungen E-Mails Kalkulationstabellen Videos und andere Multimedia-Elemente Drucken Interaktion mit in PDF-Format umgewandelte CAD-Konstruktionen und Karten Volltextsuche
-Analysen							
-Pufferung							
-Messen							
-Suche							
-Routing							
-...							

5. Anwendungen zur 3D-Visualisierung

<p>Darstellung</p> <ul style="list-style-type: none"> -Zusatzdarstellung -3D -visuelle Effekte -Überhöhung -Transparenz- -... 	<ul style="list-style-type: none"> Gitternetz Übersichtskarte Maßstabsleiste Atmosphäre, Sonne Historisches Bildmaterial Panoramaansicht Wasseroberfläche Erkunden von Erde, Himmel, Mars u. Mond 	<ul style="list-style-type: none"> Vogelperspektive Straßenansicht (Silverlight nötig) Maßstabsleiste 	<ul style="list-style-type: none"> Sterne, Atmosphäre, Nebel, Sonnenschein, Maßstabsleiste, Gitternetz; Effekte: Transparenz, Ausblenden; Abfragen 	<ul style="list-style-type: none"> Kartenübersicht Maßstabsleiste Nordpfeil grobe Generalisierung keine Satellitenbilder Hausklötzchen Zusatzebene mit weiteren Informationen 	<ul style="list-style-type: none"> Gitternetz Realistisches Sonnenlicht Schatten Verschiedenes Bildmaterial Ansicht von Erde, Jupiter, Mars, Mond, Venus Schatten, Atmosphäre 	<ul style="list-style-type: none"> Kamerawinkel Kantenglättung Angezeigte Flächen Nebel Beleuchtung Kameramodus (2D/ 3D) Texturenanzeige Kompass 	<ul style="list-style-type: none"> 3D-PDF im Vorfeld gespeicherte Ansichten
<p>Performanz</p>	<ul style="list-style-type: none"> gut 	<ul style="list-style-type: none"> k. A. 	<ul style="list-style-type: none"> gut 	<ul style="list-style-type: none"> schlecht 	<ul style="list-style-type: none"> schlecht 	<ul style="list-style-type: none"> sehr gut, da Dateidownload in vielen Segmenten 	<ul style="list-style-type: none"> schlecht für große Gebiete kleine Gebiete gut
<p>Vorteile</p>	<ul style="list-style-type: none"> KML-Einbindung kostenlos gutes Bildmaterial (Auflösung bis 1m) ständige Aktualisierung Schnittstelle für jede Informationsart mit geographischem Bezug Verknüpfung mit Google Maps und Google-Werkzeugen geeignet für Web 	<ul style="list-style-type: none"> Gutes Zusammenspiel mit Web-Browsern Import von Verkehrsdaten für USA → Echtzeit Staus und Baustellen auf den Straßen angezeigt kostenlos Vogelperspektive 	<ul style="list-style-type: none"> Ansprechen der vollen ArcGIS Server-, Geoverarbeitungs-funktionen 3D-Darstellung → volle Leitung serverbasierter Geoverarbeitungen Desktop-Client nutzbar Verwendung eigener Grundkarten kostenlos Tasks für GIS-Funktionalitäten 	<ul style="list-style-type: none"> VRML-Import interaktiv einfache Integration in Webseiten, Online-Portale Verwendung W3DS 	<ul style="list-style-type: none"> KML-Import, WMS-Dienst Zeitraffer Ansichten anderer Planeten Anaglyphen 3D Ansichten kostenlos für jede Altersgruppe 	<ul style="list-style-type: none"> junge Firma, passt Kundenwünsche an kostenlos 	<ul style="list-style-type: none"> Jeder kann es öffnen und ansehen, da Reader weit verbreitet universell Standardformat PDF darstellbar kostenlos
<p>Nachteile</p>	<ul style="list-style-type: none"> Untergrunddarstellung nicht möglich keine umfangreiche Datenformatunterstützung Häufige Verwendung → instabil 	<ul style="list-style-type: none"> Voraussetzung ist Microsofts Internet Explorer Perspektive auf amerikanischen Städte Las Vegas, Dallas, Denver und Phoenix begrenzt 3D-Darstellung abgeschafft! 	<ul style="list-style-type: none"> nicht alle möglichen Formate importierbar, die angegeben sind (aus GDB am besten) Multipatch-KML fehlerhaft dargestellt schweben von Multipatch-Dateien 	<ul style="list-style-type: none"> Sehr langsamer Bildaufbau nur vektorisierte Darstellung (grob, stark generalisierte Karte) nicht weltweit erhoben (nur Europa und da auch nicht komplett) Geländedarstellung mit minimalen Höhenunterschieden Navigation hängt stark, ist gewöhnungsbedürftig Zusatzinfos nicht darstellbar/angezeigt → viele Funktionen funktionieren nicht VRML Import ohne Darstellung Objektanzeige, Adressuche funktionieren nicht Dateiimport nicht dargestellt 	<ul style="list-style-type: none"> Langsamer Aufbau der Satellitenbilder Ortsbezeichnungen falsch platziert dadurch keine Ortssuche möglich wenig Placemarks Erdbeben Icons und historische Erdbeben (sind nicht auswählbar bzw. werden nicht angezeigt) KML Im-/Export nicht angezeigt Suchfunktion schwierig, undurchschaubar 	<ul style="list-style-type: none"> viele Werkzeuge funktionieren nicht Untergrunddarstellung an Firma zur Programmierung (Kosten?!) häufige Programmabstürze 	<ul style="list-style-type: none"> wenige Funktionen Adobe Acrobat Pro kostenpflichtig

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Anwendungen zur 3D-Visualisierung

5.8.2. Bewertung

Mit Hilfe der in 5.8.1. aufgeführten Gegenüberstellung der Anwendungen zur 3D-Visualisierung ist eine Aussage über die Anwendbarkeit der jeweiligen Viewer für die Aufgabe dieser Arbeit möglich. Hervorzuheben ist, dass bis auf den CityViewer und Adobe Reader alle anderen Programme eine KML-Unterstützung bieten. Dieses Format ist für die 3D-Visualisierung wohl das geeignetste. Auch bei der Betrachtung der Performanz liegen alle Viewer mit der Bewertung "gut" für eine zufriedenstellende Geschwindigkeit des Bildaufbaus und der Navigationsführung in einem geeigneten Rahmen. Zu betonen ist, dass alle Viewer kostenlos über das Internet erhältlich sind. Daher ist die Bedingung für einen kostenfreien Viewer erfüllt. Leider scheidet der Viewer von Microsoft Bing Maps 3D auf Grund seiner Abschaffung für die Betrachtung von 3D-Inhalten als ein möglicher Viewer aus. XNavigator, NASA World Wind und Google Earth zeichnen sich durch die vielen Möglichkeiten der Zusatzdarstellungen und visuelle Effekte aus, haben allerdings überwiegende Schwächen, die in 5.8.3. näher erläutert werden. Daher bleibt als geeigneter Viewer der ArcGIS Explorer auf Grund seiner vielen Möglichkeiten des Datenimports sowie der zusätzlich verwendbaren Analysefunktionen. Zudem ist diese Desktop-Anwendung für den Client ohne Kosten verbunden. Auch die intuitive Navigation und Benutzerführung sprechen für dieses Produkt. Gleichmaßen kann der Adobe Reader zu einem für die 3D-Darstellung der Grundwasserdatenbankinformationen passenden Visualisierungsprogramm gezählt werden. Mit seiner universellen Einsetzbarkeit und der Unterstützung des Standardformats PDF ist jeder Nutzer in der Lage, sich ein ausgewähltes Gebiet mit Grundwasserstanddaten und Gebäudeabmessungen anzeigen zu lassen. Zudem ist die Erstellung über die FME-Schnittstelle bei der LUBW unkompliziert und ohne Zusatzkosten verbunden. Somit sind der ArcGIS Explorer und der Adobe Reader die für diese Arbeit besten Viewer für die Darstellungen der Fachanwendung zur Grundwasserdatenbank.

5.8.3. Schwächenanalyse

Da bei der Recherche und einiger Tests der Anwendungen Microsofts Bing Maps 3D-Ansicht wegen der Abschaffung der Erweiterung nicht funktionierte, kann es nicht weiter in Betracht gezogen werden. Darüberhinaus gibt es wesentliche Schwächen einiger Anwendungen, die im Folgenden näher betrachtet werden.

Zunächst ist zu erwähnen, dass es in Google Earth leider nicht möglich ist unter die Erdoberfläche zu navigieren, was die Darstellung einer Grundwasserebene unmöglich macht. Außerdem werden die in ArcGIS zu Multipatches bearbeiteten Google SketchUp-Dateien fehlerhaft dargestellt, was nicht einer optimalen Visualisierung entspricht und Analysen sicherlich schwierig gestaltet. Aus diesem Grund wird Google Earth als geeigneter Viewer frühzeitig ausgeschlossen. Der XNavigator ist eine andere Variante der Darstellung

5. Anwendungen zur 3D-Visualisierung

von 3D-Daten. Jedoch können die importierten Daten, wie z.B. KML, nicht dargestellt werden. Zudem ist die Darstellung sehr grob und der Bildaufbau extrem langsam, was nicht den Erfordernissen einer geeigneten und performanten Visualisierung entspricht. Ein eigenes Gelände ist ebenfalls nicht als Kartengrundlage importierbar und es gibt einige Fehler in der Ergebnisdarstellung von Funktionen. Jedoch wurde dieser Viewer auf Grund des W3DS mit betrachtet, trotz des Umstands, dass dieser kein anerkannter Standard ist und nur wenige Server für die Bereitstellung dieser Services vorhanden sind. Demnach ist die Ausführung für den XNavigator und seinem W3DS mehr als Ausblick gedacht und entfällt somit auch als potenzieller Viewer für die dreidimensionale Darstellung von Gelände- und Grundwasserdaten. Gleichermaßen verhält sich die Auswertung der Eigenschaften des CityViewers, welcher durch seine noch nicht ganz ausgereiften Funktionalitäten negativ auffällt. Auf Grund der vielen Werkzeuge, die größtenteils nicht ausführbar sind und den damit zusammenhängenden Programmabstürzen, ist dieser Viewer wenig für eine stabile Anwendung in diesem Projekt dienlich. Weiterhin ist es mit dem NASA World Wind Viewer leider nicht möglich eigene Daten zu importieren, der Bildaufbau der Satellitenbilder ist etwas langsam und es gibt grobe Fehler in der Georeferenzierung der Ortsnamen. Ein KML-Import wird nicht dargestellt und die Suchfunktion ist sehr unübersichtlich und funktioniert auf Grund der falschen Ortszuweisungen nicht. Daher ist auch dieser Viewer eher nur eine Alternative von unterschiedlichen Anwendungen, die in der Literatur erwähnt wird und deshalb auch in dieser Arbeit berücksichtigt werden sollte. Trotz der bereits erwähnten Tauglichkeit des Adobe Readers, gibt es auch hier ein Mangel: die wenigen Funktionen, welche auf die 3D-Darstellung der Inhalte anwendbar sind. Außerdem soll die Variante der Darstellung der Grundwasserdatenbankinhalte über ein 3D-PDF lediglich eine Möglichkeit zur schnellen Visualisierung und Datenaustausch zwischen den Anwendern darstellen. Demnach sind über die fehlenden Analyseoptionen hinwegzusehen. Auch der ArcGIS Explorer hat einige Defizite, wie beispielsweise die fehlerhafte Darstellung von KML-Dateien, das unerklärliche Schweben von Multipatch-Dateien oder dass es Probleme beim Import einiger Datenformate gibt. Hier stellt sich der Datenimport über eine Geodatabase am geeignetsten und unproblematischsten heraus. Jedoch bietet der ArcGIS Explorer durch die Möglichkeit der Verwendung von Globe-Services und Geoverarbeitungswerkzeugdiensten eine gute Chance die gewünschten Daten der Fachanwendung über das Internet für die Nutzer bereitzustellen.

6. PILOTHAFTE UMSETZUNG DER DARSTELLUNG VON INHALTEN DER GRUNDWASSERDATENBANK FÜR DEN BEREICH KAISERSTUHL

Die Machbarkeit des geplanten Projekts ist nur über eine Testphase ersichtlich und ausreichend begründbar. Aus diesem Grund wurden eigens erstellte Objekt- und Geländedaten für das Gebiet Kaiserstuhl für die ausführliche Prüfung der Funktionalitäten, Datenumwandlungen, Datenübertragungen etc. verwendet.

In diesem Abschnitt wird der gesamte Testprozess aufgeführt. Zunächst werden von den auszugehenden Daten für das Gelände, die Grundwasserebene und das Gebäude mögliche Bezugsquellen aufgezeigt. Weiterhin werden zwei Varianten dargestellt, welche sich im Laufe der Arbeit als plausibel und machbar erwiesen. Die erste Variante beinhaltet die Darstellung des gewünschten Gebietes in einem 3D-PDF, welche alleinig zur Übersicht und Visualisierung der Komponenten dient. Über die zweite Variante, alle Komponenten als Globe-Service verfügbar zu machen und mit dem ArcGIS Explorer vom ArcGIS Server aus zu öffnen, sind weitere Analysen durchführbar und somit eine zukunftssträchtigere Verwendung zu erwarten.

6.1. Erforderliche Ausgangsdaten

Nachfolgend werden zunächst auf die erforderlichen Ausgangsdaten eingegangen, welche für den weiteren Arbeitsablauf bei den beiden betrachteten Varianten gleich sind. Hierbei wird augenmerklich auf die Datenherkunft, d.h. woher die Daten bezogen werden können, eingegangen. Daraus entsteht der grundlegende Workflow für die Datenübertragung in der Fachanwendung, welcher in den darauffolgenden Varianten gleich ist. Schwierigkeiten und Probleme, die bei der Bearbeitung auftraten, werden abschließend aufgeführt.

6.1.1. Herkunft der Geländedaten

Die Ausgangsdaten für das Digitale Geländemodell liefert das Landesamt für Geoinformationen und Landentwicklung (LGL) Baden-Württemberg über eine Referenzdatenbank. Diese Rohdaten im Gauß-Krüger-Koordinatensystem werden über Laserscanning-Verfahren mit einer Höhengenaugigkeit von +/-0,2m aufgenommen und bereitgestellt. Diese unregelmäßig verteilten Punktdaten (auch Punktwolken genannt), mit einer Punktdichte von 0,8 Punkten pro m², werden zunächst im ASCII-Format an die LUBW in 1m- und 5m-Auflösung in Kacheln geliefert. Eine Kachel entspricht einem Gebiet Baden-Württembergs mit einer Größe von 1000 x 1000 Metern (insgesamt 1 Million Rasterzellen) und jeweiligen Koordinatennamen von der südwestlichen Kachelecke (Rechts- und Hochwert). Weiterhin sind die Kacheln deckungsgleich zu den dazugehörigen analogen Orthobildern und in ihnen befinden sich die Punkte zeilenweise mit X-Y-Z-Koordinaten angeordnet. Daher müssen die DGM-1m-ASCII-Daten vorerst in Punktdateien umgewandelt

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

werden. Der Rechenaufwand für die insgesamt 36.000 Kacheln ist entsprechend groß, deshalb wird ein eigens erstellter ArcObjects-Konverter verwendet. Es werden Punktdateien aus den First-Puls-Punkten (transformierte Boden-/ Tiefpunkte bzw. Vegetations-/Hochpunkte) oder aus den bereinigten Last-Puls-Punkten (Bereinigung, d.h. Plausibilisierung, der transformierten Boden-/Tiefpunkte bzw. Vegetations-/Hochpunkte und zusätzlichen Brückenpunkten) verwendet. Aus den bereinigten Bodenpunkten (bereinigte Last-Puls-Punkte) wird ein regelmäßiges Punktraster (DGM) mit einer Gitterweite von einem Meter generiert. Das DGM besitzt eine Höhengenaugigkeit von +/-0,5m. Aus diesem Grid können je nach Anfrage TINs und Terrains generiert werden.

Durch die Vergleichsanalysen ist belegt, dass das Raster am geeignetsten für eine schnelle und unproblematische Darstellung ist. Außerdem zählt die Machbarkeit innerhalb der Varianten auch zum Auswahlkriterium, welches zum Ergebnis des Rasters als Geländedatengrundlage führt.

Der zum ausgewählten Gebiet gehörende TK10-Ausschnitt (Topographische Karte mit einem Maßstab 1:10.000) wird ebenfalls vom RIPS der LUBW entnommen und mit einer vorher ausgewählten Bounding-Box verschnitten.

Weiterhin kann im ArcCatalog über die Funktion *Hillshade* eine Schummerung des Geländes erzeugt werden, welche sich für eine schönere Visualisierung im ArcGIS Explorer eignet. Diese kann mit etwas Transparenz über das Gelände gelegt werden, sodass das Gelände plastischer erscheint.

6.1.2. Herkunft der Grundwasserdaten

Die Daten zu Grundwassermesswerten und -standorten können der Grundwasserdatenbank Baden-Württemberg über die Fachanwendung im GIS-Team entnommen werden. Die Messdaten von gesamt Baden-Württemberg liegen nicht zentral vor, denn jede Dienststelle besitzt ihre eigene Datenbank. Alle grundlegenden Daten, wie beispielsweise Digitale Gelände Modelle, liegen auf einer landesweiten Referenzdatenbank vor. Die Messstellen des Landesmessnetzes der Grundwasserdatenbank liegen bei der LUBW auf der Zora-Datenbank. Über internen Datenaustausch können Daten mit den Grundwasserdatenbanken der Regierungspräsidien und Landratsämter bzw. Stadtkreise ausgetauscht werden (siehe Abb. 23).

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

Landesanstalt für Umwelt (LUBW)

Regierungspräsidien

Landkreise, Stadtkreise

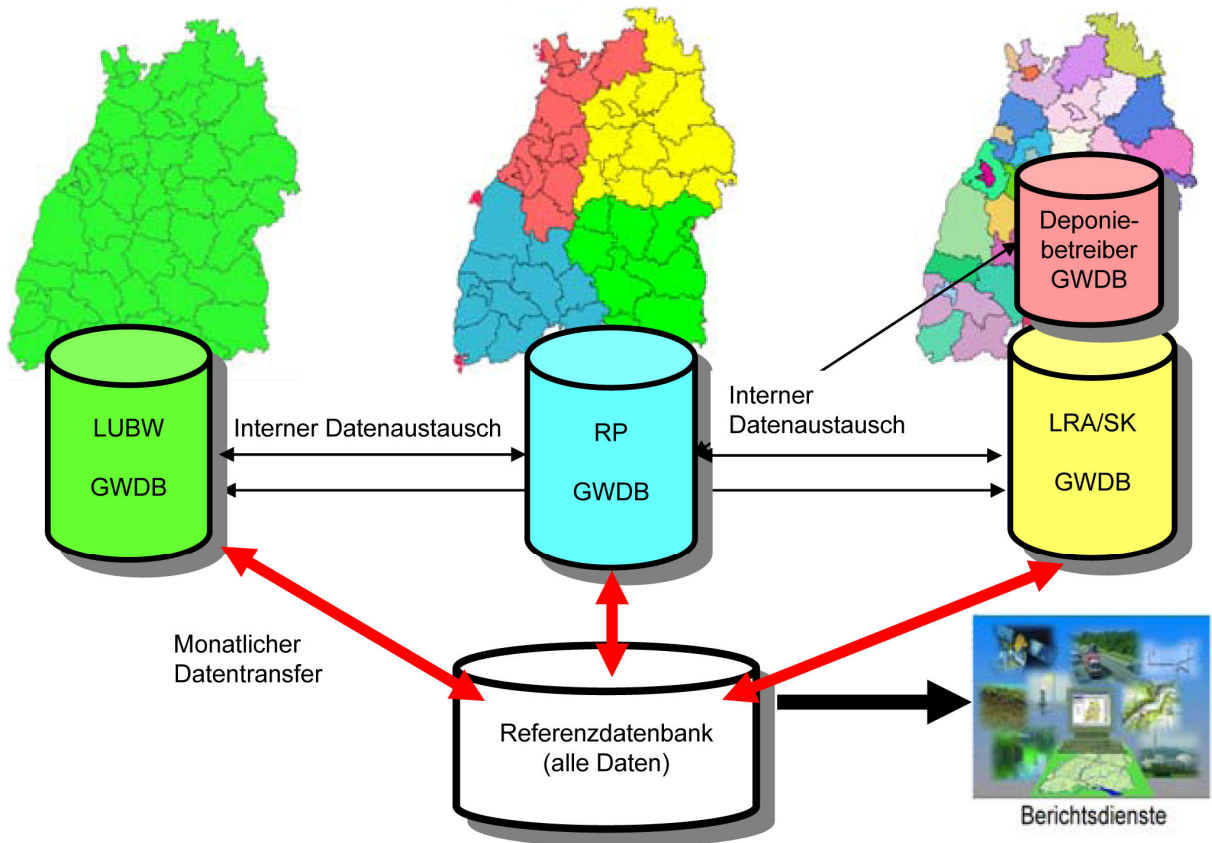


Abbildung 23: Datenaustausch Grundwasserdatenbank⁹⁰

Die Daten der verteilten Datenbanken werden routinemäßig je nach Bedarf an andere Dienststellen übermittelt bzw. weitergegeben. Somit ist die Datenbeschaffung für jedes Gebiet Baden-Württembergs gewährleistet, da die einzelnen Behörden untereinander kommunizieren und es die Möglichkeit gibt Daten auszutauschen. Die einzelnen Dienststellen sind für die Aktualität und Pflege ihrer Datenbank selbst verantwortlich. Demzufolge können sich die Daten in Bezug auf ihren Stand der Aktualität voneinander unterscheiden. Jedoch sind nicht in jedem Messpunkt neben Hoch- und Rechtswerten die wichtigen Höhenwerte angegeben. Das erschwert die dreidimensionale Bearbeitung, da die betroffenen Messpunkte auf Grund ihrer fehlenden Z-Koordinate entfallen müssen. Die für die Darstellung verwendbaren Messpunkte können über eine Selektion in der Grundwasserdatenbank für den weiteren Workflow ausgewählt und über Interpolation zu einem Polygon verbunden werden.

⁹⁰ Quelle Bild: Schuhmann, 2010, S. 10

6.1.3. Herkunft und Erstellung der Gebäudedaten

Über einen Abfragedialog zu Beginn einer Sitzung im GIS-System können die erforderlichen Parameter vom Client eingegeben werden. Wichtig für ein Gebäude ist Höhe, Breite und Tiefe zur Betrachtung und Analyse in Bezug auf ein Schneiden mit der Grundwasserebene. Zudem ist es denkbar ein Google SketchUp-Modell zu erstellen, in ArcGIS zu bearbeiten und als KML in die Anwendung einzubeziehen. Im Folgenden wird kurz eine solche Modellerstellung erläutert:

Zunächst muss ein 3D-Gebäudemodell in Google SketchUp erstellt und über die in Google SketchUp aufrufbaren Modellinformationen unter der Registerkarte "Geostandort" ein Ort zur Georeferenzierung des Modells angegeben werden. Dieses wird standardmäßig im SKP-Datenformat von SketchUp abgespeichert, muss jedoch als Collada-Datei exportiert werden. Im ArcCatalog wird für die weitere Bearbeitung in ArcScene eine leere Multipatch-Feature-Class in einer File Geodatabase erzeugt. Dieses kann nun in ArcScene geöffnet und über Starten des Editors bearbeitet werden. Mit dem *Edit Placement*-Werkzeug kann nun dem Multipatch das SketchUp-Modell hinzugefügt werden. Durch Anklicken des noch leeren Multipatches öffnet sich eine Eingabeaufforderung, in der die zuvor erstellte Collada-Datei des SketchUp-Modells ausgewählt und in die ArcScene-Datei eingefügt wird. Über die Editor-Werkzeuge kann das Modell bewegt (*Move*) bzw. platziert (über X,Y,Z-Koordinaten) werden, da das aus SketchUp erstellte Modell lediglich eine Georeferenzierung über den Hoch- und Rechtswert erhalten kann. Für eine sofortige Georeferenzierung aus Google SketchUp heraus müsste die lizenzierte Version Google SketchUp Pro verwendet werden, welche zusätzliche Werkzeuge für GIS-Einbindungen bietet. Doch auf Grund der notwendigen Lizenz wird dieser Weg nicht weiter betrachtet, da der Anwender sich das Programm Google SketchUp lokal auf seinen Computer installieren muss und bei der höheren Version des Programms zusätzlich ungewollte Kosten entstehen würden.

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

6.1.4. Grundlegender Workflow

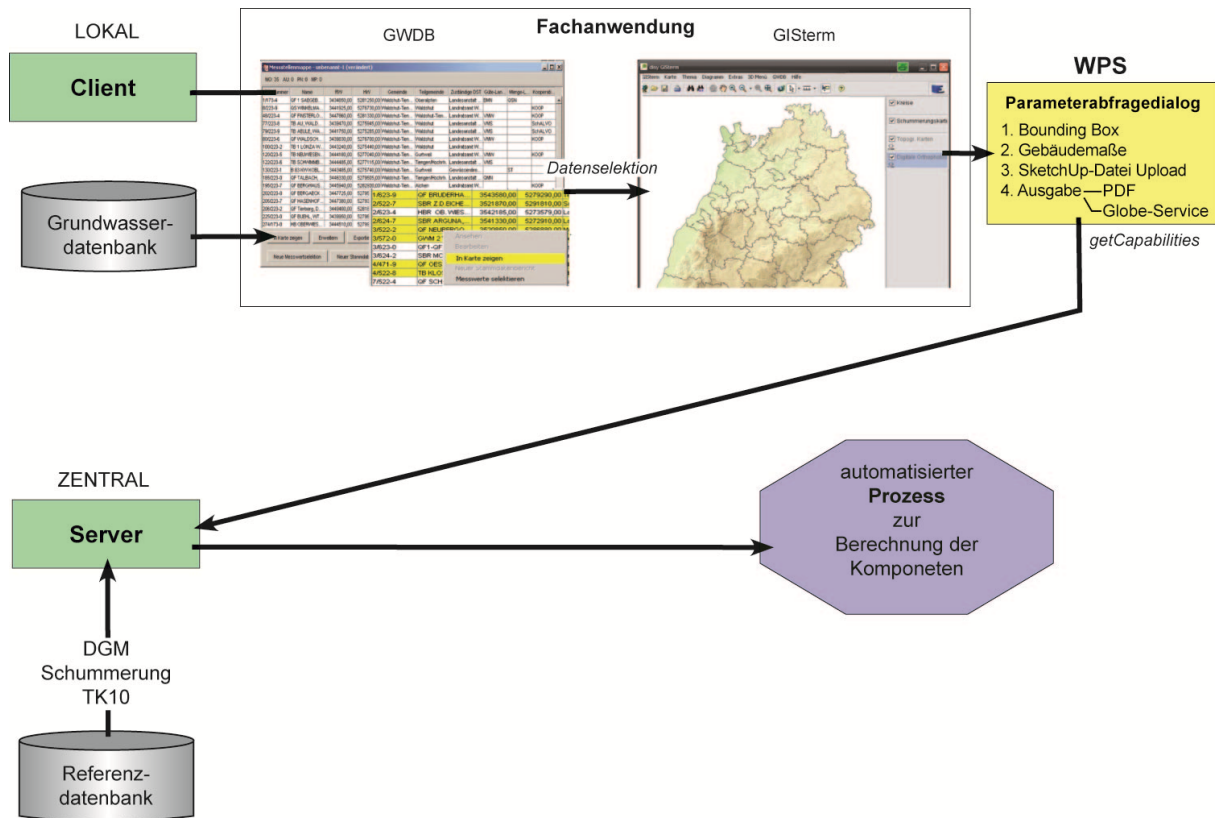


Abbildung 24: Workflow-Grundlage

In Abbildung 24 wird der Workflow bis zum Datenumwandlungsprozess aufgezeigt. Bis zu diesem grundlegenden Aufbau ist die Datenbeschaffung bzw. Eingabe der notwendigen Komponenten für die Generierung der 3D-Szene gleich. Zunächst werden in der Client-seitigen Fachanwendung für die Grundwasserdatenbank, welche lokal auf den Rechnern der Anwender installiert ist, die erforderlichen Messstellen selektiert. Diese sind dann im GIStern visuell in der Karte anzeigbar. Durch einen Parameterabfragedialog, welcher über einen WPS im GIStern verfügbar ist, können nun alle erforderlichen Parameter vom Client abgefragt werden. Dabei werden über *getCapabilities* alle möglichen Daten aufgelistet, welche danach im Prozess beschrieben (*Describe*) und ausgeführt (*Execute*) werden. Zuvor wird über eine Bounding-Box das Gebiet der darzustellenden Szene abgesteckt. Die selektierten Messpunkte werden zusammen mit Parametern zur Bounding-Box, dem Gebäude und der gewünschten Ausgabe als Globe-Service oder 3D-PDF über den WPS zum Server weitergeleitet. Das Gebäude kann dabei entweder über Parameter zu Gebäudehöhe, -tiefe und -breite sowie dessen Standort-Koordinaten oder einem Upload einer selbst erstellten und georeferenziert Google SketchUp-Datei integriert werden. Außerdem ist es wichtig, das Ergebnis der Datenabfrage bei beiden möglichen Ausgabeformaten gleich, also in diesem Fall eine URL, ist. In diesem Fall reicht es aus einen einzigen WPS zur Datenabfrage zu verwenden. Sind die Ergebnisformate jedoch

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

unterschiedlich, müssen zwei Web-Processing-Services verwendet werden. Auf dem zentralen Server der LUBW werden zusätzlich Daten von der Referenzdatenbank, wie beispielsweise dem GDM für die Geländeoberfläche, der TK10 für eine bessere Orientierung des Betrachters und eventuell eine Schummerung für einen optisch besseren Eindruck, hinzugefügt. Durch einen Prozess, welcher automatisiert ablaufen sollte, werden die unterschiedlichen Komponenten für das jeweilige Ausgabeformat umgewandelt. Je nachdem, ob ein Globe-Service zur Verfügung stehen oder ein 3D-PDF erstellt werden soll, müssen unterschiedliche Arbeitsabläufe für die Erstellung der erforderlichen Datenformate durchlaufen werden, welche durch ein Skript im Model-Builder erstellt werden könnte. Zum weiteren Aufbau des Workflows der jeweiligen Varianten wird jedoch im Folgenden näher drauf eingegangen.

6.1.5. Aufgetretene Schwierigkeiten mit den Grundlagendaten

Zunächst liegt ein Problem darin, dass das Gebäudemodell als KML-Datei aus Google SketchUp durch die fehlende Georeferenzierung in Z-Richtung einen Fehler bei der exakten Darstellung im ArcGIS Explorer aufweist, wenn die Bezugsfläche (Gelände) entfernt wird. In diesem Fall richtet sich die Höhe nach dem Gelände, wodurch bei dessen entfernen das Gebäudemodell seine Höhenreferenz verliert und auf die Höhe Null gesetzt wird. Demnach kann nicht genau festgelegt werden, wie weit das Gebäude ins Erdreich hineinragt. Eine Möglichkeit die KML-Datei in ein ESRI-Layer umzuwandeln besteht zwar, jedoch zerstört diese Umwandlung die Gebäudegeometrie und es schwebt verdreht im Raum. In der kostenpflichtigen Version von Google SketchUp Pro kann ein Datenmodell direkt in GIS-Formate umgewandelt werden. Leider können diese nicht für die Betrachtung untersucht werden, da sie auf Grund ihrer Lizenz für das Projekt nicht mehr in Frage kommen. Dieses Problem kann durch den in 6.1.3. erläuterten Lösungsansatz behoben werden. Ebenfalls ist es möglich ein weiteres auftretendes Problem, die Umwandlung von KML in eine für den Globe-Service benötigte Multipatch-Datei (Erläuterung dazu siehe 6.3.ff), zu beheben. Bis zur endgültigen Lösung des Umwandlungsproblems wurde die KML-Datei in ArcScene verzerrt und räumlich verdreht, jedoch mit Bezug zum Koordinatensystem dargestellt. Die aus dem SketchUp-Modell generierte Multipatch-Datei ist zwar ohne Probleme im ArcGIS Explorer zu öffnen, schwebt aber ohne Bezug in der Luft. Doch nach eingängiger Analyse des Problems konnte festgestellt werden, dass das Schweben am unterschiedlichen Koordinatensystem der Komponenten liegt. Besitzen alle Komponenten ein einheitliches Koordinatensystem, tritt der Schwebefehler nicht mehr auf.

6.2. Variante 3D-PDF

Die Möglichkeit der Visualisierung über das 3D-PDF ist in der Hinsicht erfolgsversprechend, da zur Darstellung einzig und allein der Adobe Reader benötigt wird, welcher kostenlos downloadbar und auf den meisten Rechnern standardmäßig installiert ist. Demnach ist eine sichere Gewährleistung der Nutzung eines standardisierten Formats durch die Interoperabilität gegeben. Anwender können ihren gewünschten Gebietsausschnitt wählen und sich die Daten untereinander problemlos zukommen lassen. Eine Erstellung eines solchen 3D-PDF ist grundsätzlich, wie bereits in 4.5. erwähnt über Adobe Acrobat Pro und den 3D Converter der Firma Tetra 4D möglich. Jedoch nutzt die LUBW bereits für andere Datenumwandlungen die FME-Schnittstelle, welche Datentransformationen unzähliger verschiedener Datenformate in andere unterstützt und somit ohne Beschaffung des Adobe Produkts, welches zusätzliche Kosten erfordern würde, durchführbar ist. Im Folgenden werden die nötigen Datengrundlagen und -formate erläutert, sowie der Arbeitsablauf über FME, ein gesamter Workflow des Prozesses und letztlich aufgetretene Probleme während der Testphase zur Erstellung des 3D-PDFs.

6.2.1. Möglichkeiten beim Datenimport

Bei der Erstellung eines 3D-PDFs in der FME-Workbench können Datenformate von ESRI importiert werden, wenn sie in einer File-basierten Geodatabase vorliegen. Zusätzlich können Geodatabases aus ArcSDE-, MDB- oder XML-Formaten hinzu geladen werden. Somit müssen zunächst alle zur Darstellung erforderlichen Daten in eine File-Geodatabase überführt werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass eine File-Geodatabase in der 9.3 Version von ArcGIS erstellt wird, da die FME-Workbench mit der 10er Version noch nicht arbeiten kann. Um eine neue File-Geodatabase zu erstellen, wird auf dem entsprechenden Ordner im ArcCatalog per Rechtsklick auf *New/ File eine* Geodatabase ausgewählt und alle erforderlichen Eingaben, wie beispielsweise Name oder Koordinatensystem, getroffen. In die leere File-Geodatabase können nun bereits vorhandenen Daten kopiert und eingefügt werden. Ebenfalls ist es möglich alle Daten über Rechtsklick auf die File-Geodatabase und die Funktion *Import* hinzuzufügen.

Leider kann nicht mit einem TIN oder einem Terrain als Geländehöhengrundlage gearbeitet werden. Beim Terrain ist eine Auswahl von vornherein nicht möglich, um es über die File-Geodatabase in die FME-Workbench zu importieren. Weiterhin kann zwar das TIN importiert, jedoch keine Höheninformationen daraus gewonnen werden. Daher bleibt letztendlich die Verwendung des Rasters, welches wie im Internetbeispiel von einem geeigneten FME-Transformer eigenständig in ein TIN umgewandelt wird.

6.2.2. 3D-PDF-Erstellung mit der FME-Schnittstelle

Die Feature Manipulation Engine (FME) dient zur Datenkonvertierung und stellt einen Standard im räumlichen Extrahieren, Transformieren und Laden dar. Mit FME wird eine umfangreiche Datenumwandlung sowie Integration mit der Unterstützung fast jedes Formats bereitgestellt. Außerdem sind Datentransformation und -verteilung durch eine FME-Konvertierung sehr flexibel und universell. FME ist als Einzelplatzlizenz, portabler Einzelplatz oder Netzwerklizenz verfügbar. Dabei enthält jede Version drei grundlegende FME-Komponenten: die FME-Workbench, den Universal Translator sowie den Universal Viewer. Die FME-Workbench selbst ist eine "Entwicklungsumgebung für die gesamte Funktionalität von FME"⁹¹, um den Bearbeitungsprozess zu visualisieren. Eine schnelle Erstellung, Umwandlung, Transformation und Integration von unzähligen Formaten ist hierüber ohne Probleme möglich. Gleichzeitig können die Arbeitsbereiche direkt auf dem FME-Server veröffentlicht werden. Zunächst werden unterschiedliche Quellformate eingelesen, woraufhin es zu einer Umwandlung in ein systemneutrales Feature-Format kommt. Letztlich wird ein Export in beliebige Zielformate, wie bei dreidimensionalen Formaten beispielsweise VRML, CityGML oder KML. Für die Erstellung eines 3D-PDFs wird in der FME-Workbench zunächst über *Add Reader* die File-Geodatabase, welche die erforderlichen Daten enthält, geöffnet und über *Parameters...* bestimmte Parametereinstellungen angepasst, wodurch alle Dateien erkannt werden. Die gewünschten Feature-Typen werden ausgewählt und in die FMW-Workbench importiert.

Mit sogenannten Transformern können die Ausgangsdaten umgewandelt werden. Zunächst werden die importierten Daten auf ihre exakte Darstellung hin untersucht. Dies ist über den Transformer "Visualizor" umsetzbar.

⁹¹ <http://www.geoas.de/pages/de/software/fme.php>

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

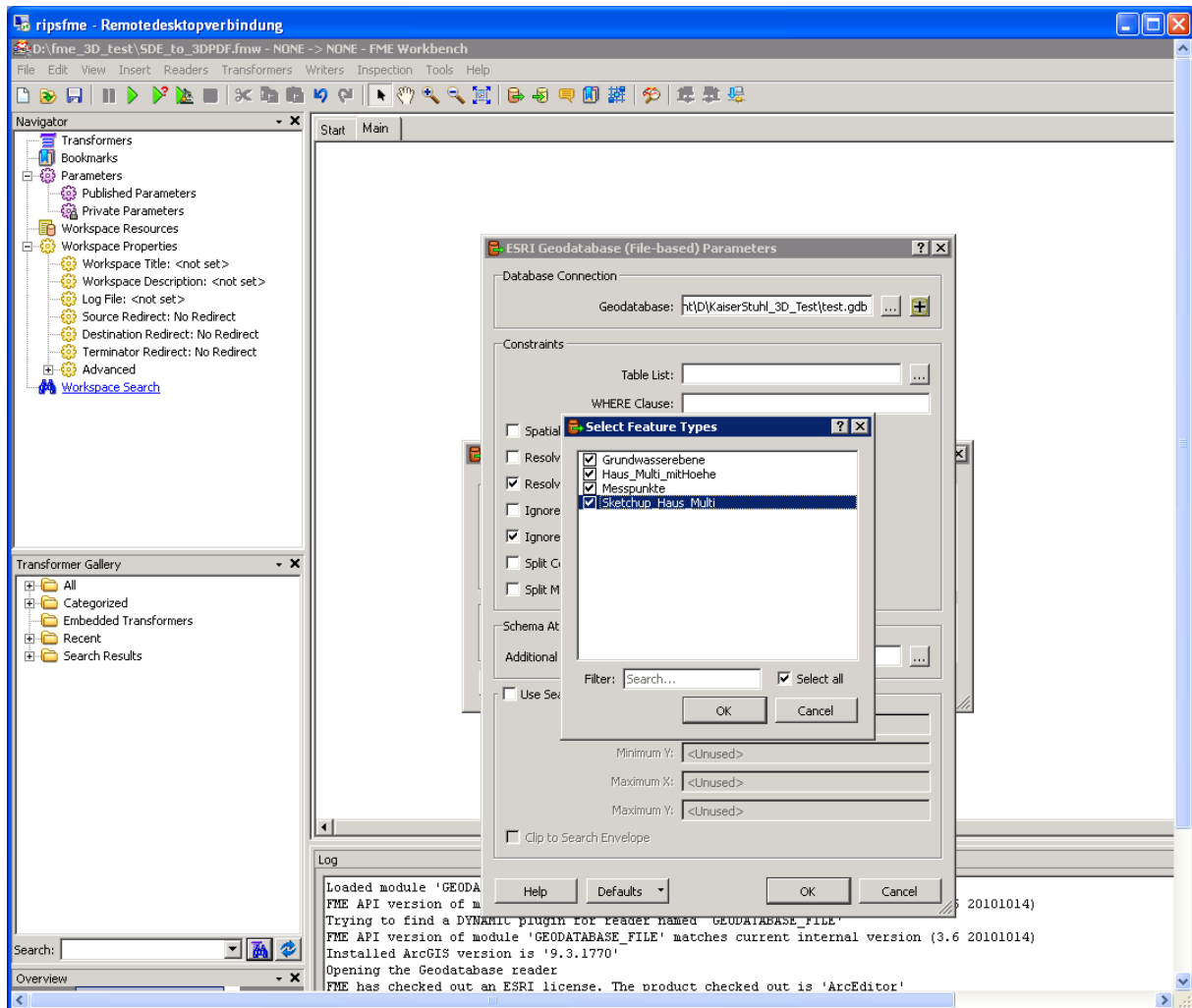


Abbildung 25: Datenimport in der FME-Workbench

Das Durchlaufen der Berechnung kann im Log-Fenster (Abb. 25 unten) mit verfolgt werden. Falls Fehler auftreten, werden diese in der Log-Datei angezeigt und können somit behoben werden. Nach der erfolgreichen Berechnung des "Visualizers" öffnet sich der FME Universal Viewer und zeigt das Ergebnis an. Hier können ebenfalls Fehler visuell erfasst werden. Zusätzlich werden im FME Universal Viewer alle Attribute, wie beispielsweise ID oder Typ des Objekts aufgelistet. Über eine Anleitung auf der Hilfeseite von FME-Pedia⁹² konnte der Arbeitsablauf für die Umwandlung grundlegend nachvollzogen werden. Jedoch entspricht der endgültige Workflow in der FME-Workbench nicht dem der Internethilfeanleitung, da aufgrund anderer Ausgangsdaten einige Transformer entfallen konnten.

⁹² http://www.fmepedia.com/index.php/Adobe_PDF

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

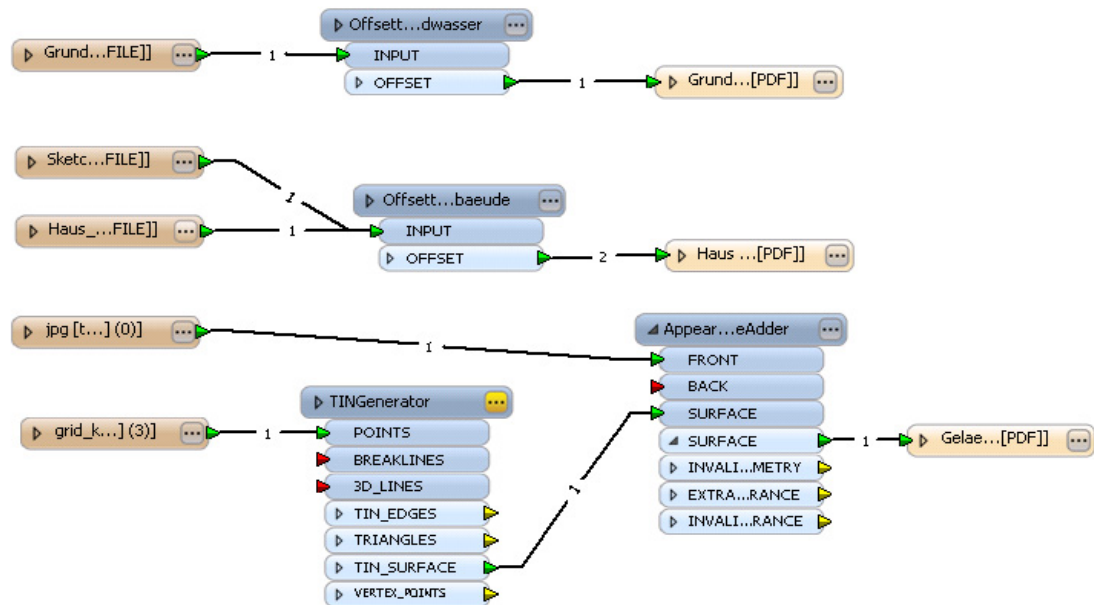


Abbildung 26: Workflow für die 3D-PDF-Erstellung

Das Resultat (Abb.26) zeigt, dass die Grundwasser- und Gebäudeebene lediglich über den Transformer "Offsetter" auf die Geländefläche gesetzt und in das 3D-PDF über *Set Reader* geschrieben werden muss. Beim Gelände ist die dreidimensionale Darstellung eine Umwandlung durch zwei weitere Transformer nötig. Zunächst wird das Raster mit den enthaltenen Höhenwerten über einen "TINGenerator" in ein TIN umgewandelt. Die entstandene 3D-Oberfläche kommt nun als Import über Surface in den "AppearanceAdder". Gleichzeitig wird die TK10, welche als JPG-Datei vorliegt als Front-Import an den "AppearanceAdder" gelegt. Dieser legt das Aussehen der Oberfläche fest. Demnach wird die TK10 auf dem TIN drapiert. Das Oberflächen-Output wird letztlich wie die Grundwasser- und Gebäudeebenen in das 3D-PDF überführt. Ergebnis ist ein 3D-PDF-Dokument mit drei Ebenen (siehe Abb.27).

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

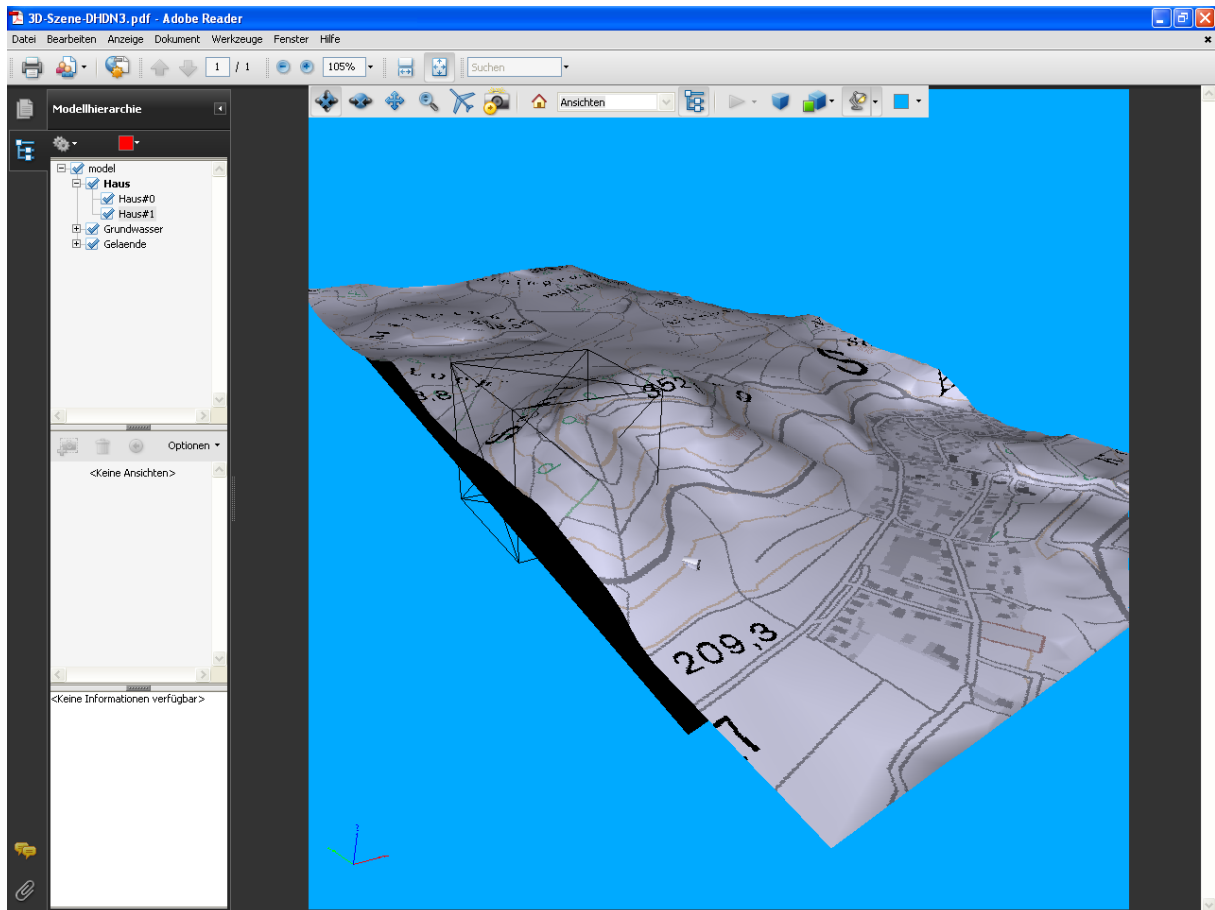


Abbildung 27: 3D-PDF geöffnet im Adobe Reader

6.2.3. Darstellung im 3D-PDF

Im 3D-PDF selbst lässt sich das Testgebiet drehen, schwenken und zoomen. Zudem können die einzelnen Ebenen für eine bessere Ansicht angepasst werden. Beispielsweise können Ebenenelemente transparent oder nur als Drahtgitter dargestellt werden. Zu den jeweiligen Objekten in den Ebenen werden im Eigenschaftsfenster gespeicherte Objekt-Attribute, wie beispielsweise die Objekt-ID, aufgelistet. Somit könnten wichtige fachspezifische Zusatzinformationen über die Attribute an die Nutzer weitergegeben werden. Die Farbgebung, welche in den Ausgangsdaten gespeichert ist, wird leider nicht übernommen. Daher sind Grundwasserfläche und der Hausklotz schwarz. Nur die SketchUp-Datei wird, wie in ArcGIS, weiß und mit Schattierungen dargestellt. Außerdem kann man in der Menüleiste des 3D-PDFs die Projektion von orthogonal auf perspektivisch ändern. Eine Veränderung der Beleuchtung, wie Tages-, Nachtbeleuchtung oder farbige Beleuchtung, ist außerdem auswählbar.

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

6.2.4. Einbindung in den Workflow

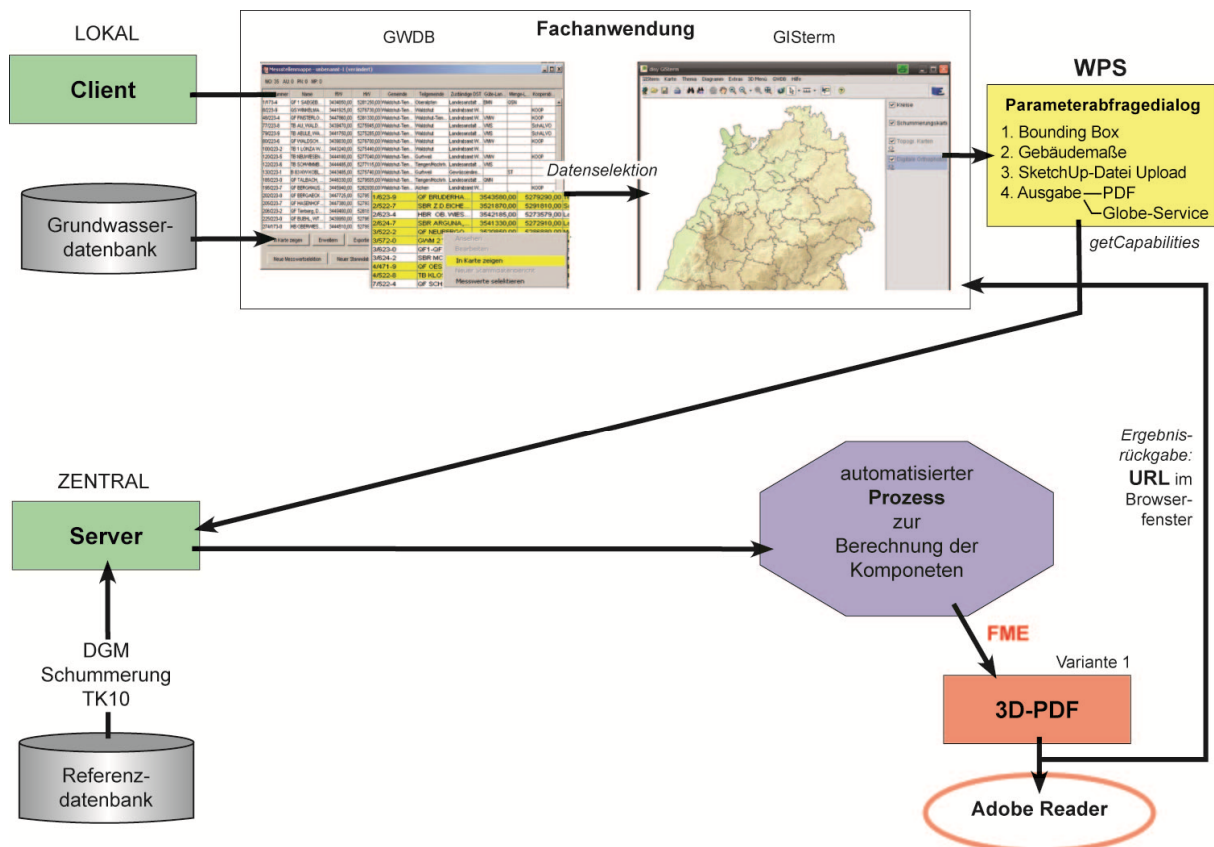


Abbildung 28: Workflow mit Variante 3D-PDF

Die Abbildung 28 zeigt den Workflow mit der Ausgabe des 3D-PDFs. Hier ist, wie in 6.1.4. bereits erklärt, der Arbeitsablauf bis zur Generierung der Komponenten gleich. Für die Erstellung des 3D-PDF werden, wie in 6.2.1. erläutert, Daten aus einer File-Geodatabase benötigt, welche in der FME-Workbench über den Arbeitsablauf in Abbildung 26 in das gewünschte 3D-PDF umgewandelt werden. Als Ergebnis wird eine URL an den Client zurückgegeben. Dabei soll sich ein Browserfenster öffnen, in dem sich der Link zum 3D-PDF befindet. Dieser kann einfach über Anklicken mit dem Adobe Reader geöffnet, betrachtet und abgespeichert werden.

6.2.5. Aufgetretene Schwierigkeiten bei der Erstellung vom 3D-PDF

Die ersten Probleme ergaben sich bei der Überprüfung mit dem "Visualizor" in der FME-Workbench. Hierbei wird das Bild der TK10 in falscher Farbdarstellung wiedergegeben. Zunächst wird, wie im Internetbeispiel, ein PNG-Format genutzt, was wohl den Fehler verursacht. Mit der Verwendung eines JPG-Formates kann das gewünschte Ergebnis jedoch erzielt werden (vgl. Abb. 29 und Abb. 30).

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

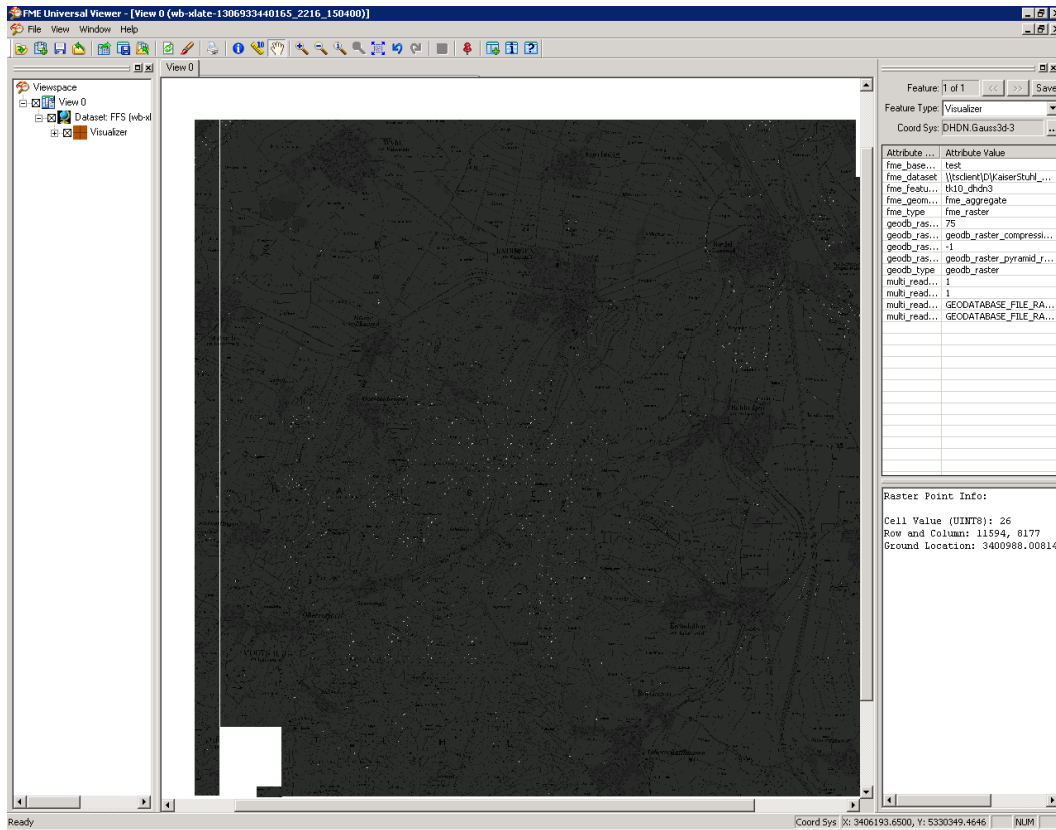


Abbildung 29: Falsche Darstellung der TK10

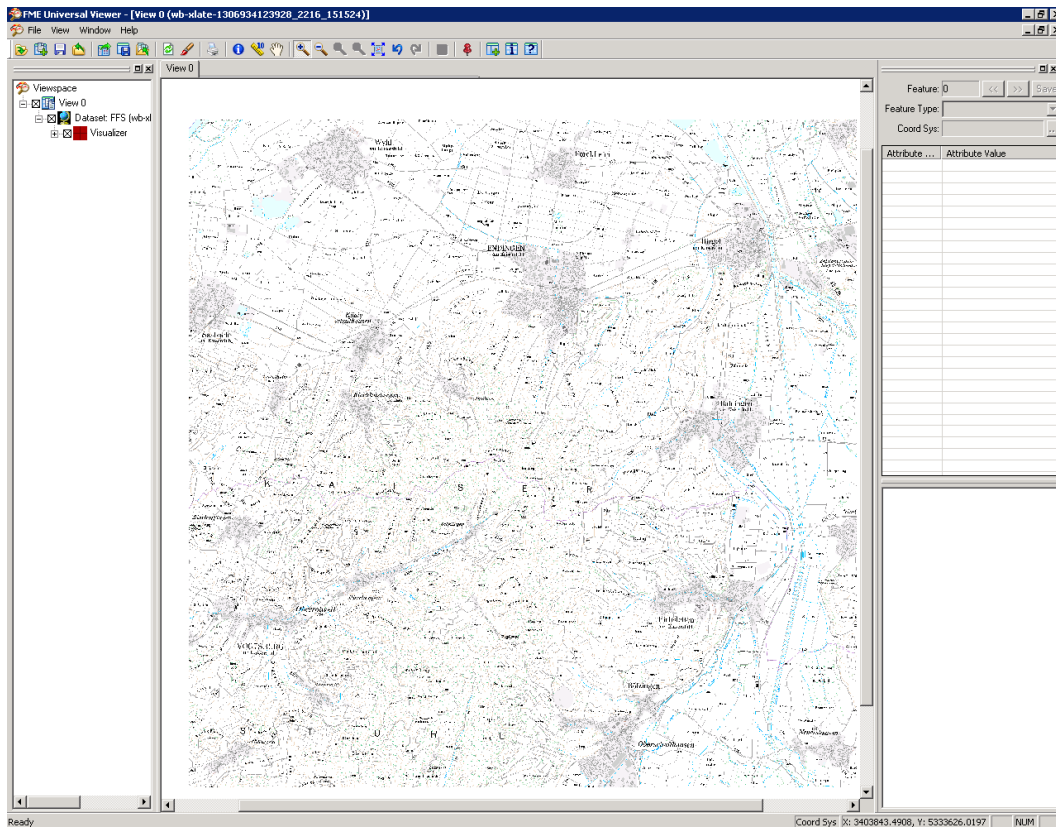


Abbildung 30: Richtige Darstellung der TK10

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

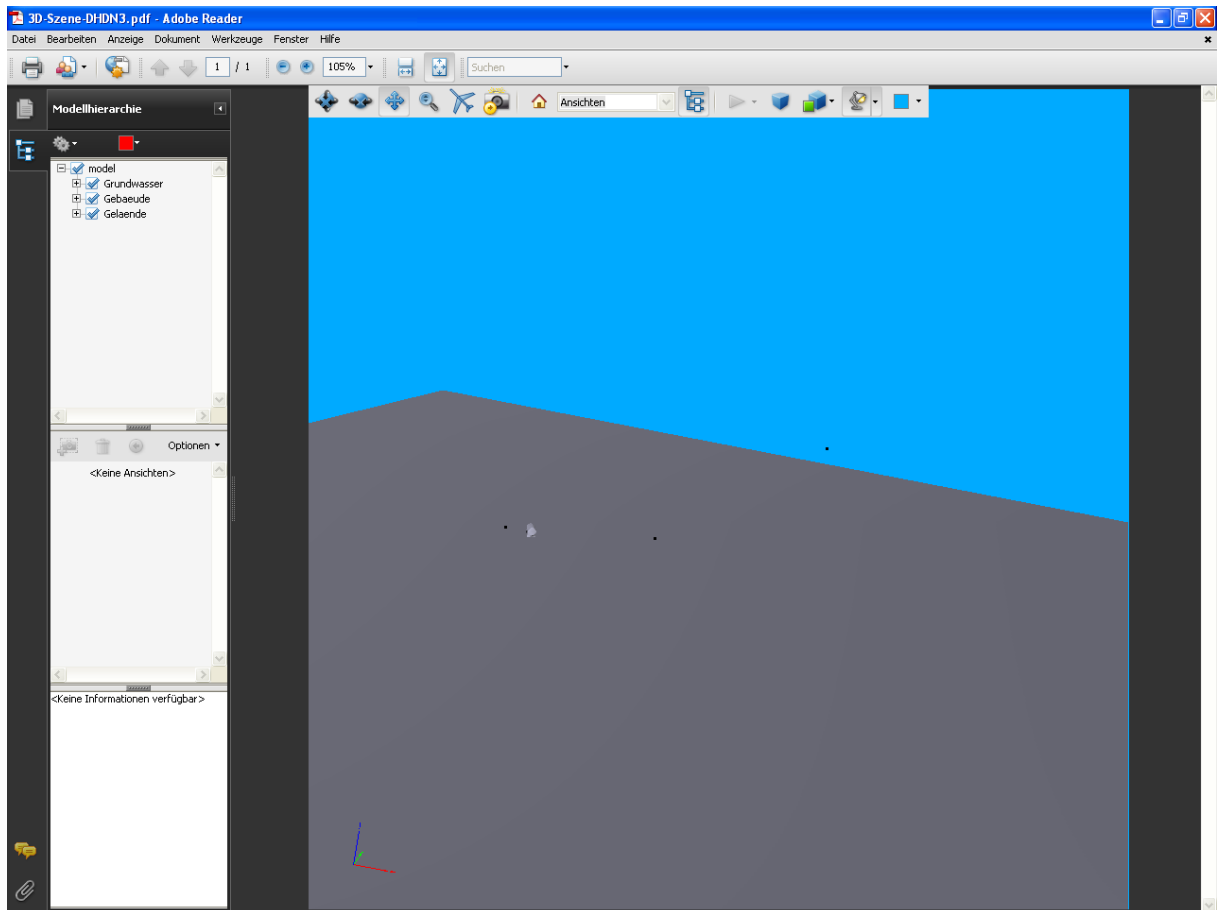


Abbildung 31: Erster Versuch der 3D-PDF-Erstellung nach Beispiel aus FME-Pedia

Bei einer ersten Umwandlung in ein 3D-PDF wird das Ergebnis von Abbildung 31 erreicht. Hier sind im Arbeitsablauf noch keine weiteren Transformer eingebaut, sodass das Gelände nicht dreidimensional sondern nur als Fläche ohne Verwendung der Höhenwerte dargestellt wird. Jedoch schweben die Objekte bereits in der für sie vorgesehenen Höhe.

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

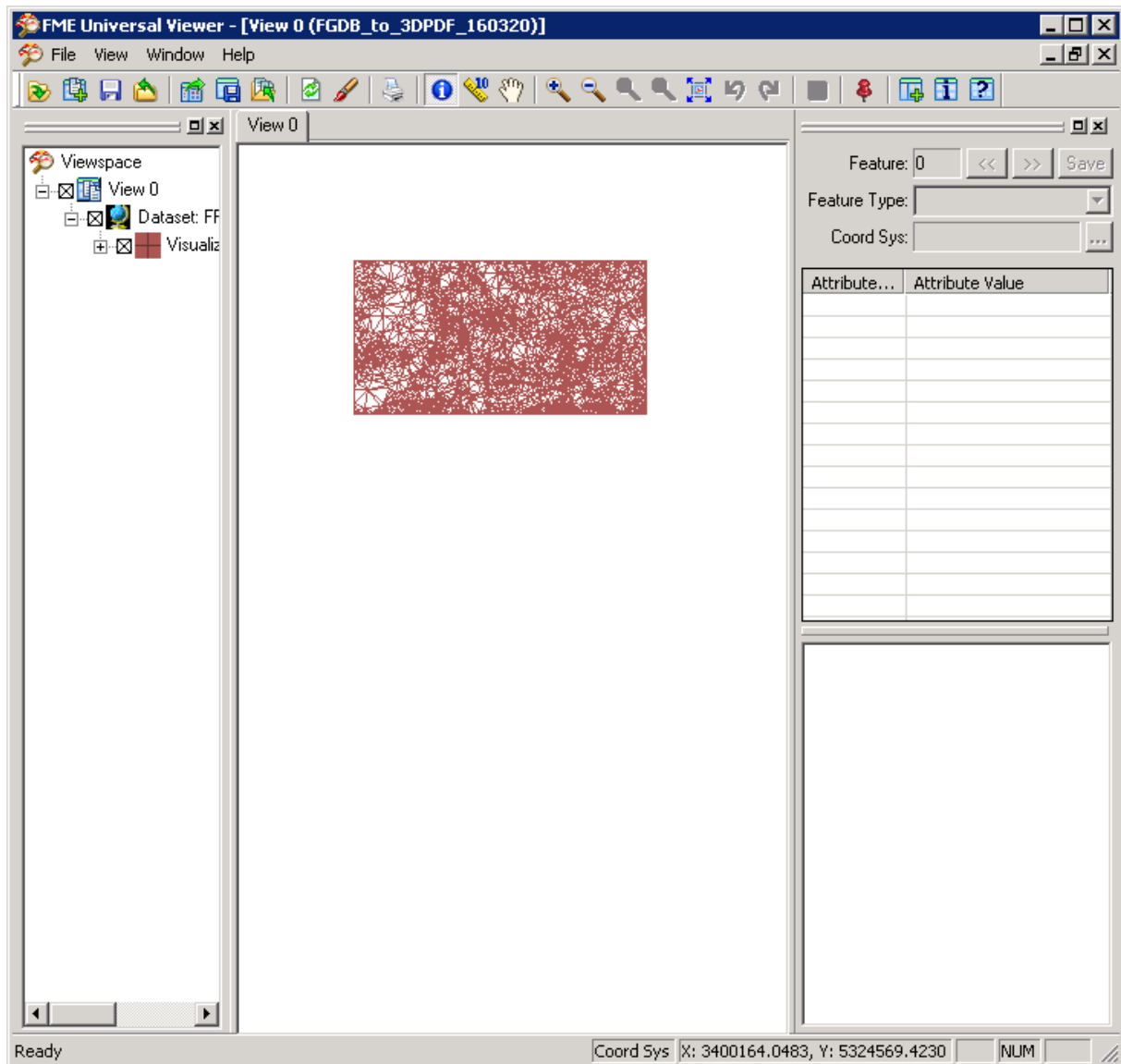


Abbildung 33: Fehler bei der TIN-Generierung

Im Internetbeispiel wird die Geländeebene mit der Ebene des Bildes über eine Bounding-Box verschnitten (Transformer "BoundingBox" und "Clipper") und später erst an den "TINGenerator" übergeben. Zusätzlich muss ein "AppearanceStyler" eingefügt werden, der für die Darstellung und Drapierung des Bildes auf dem Gelände zuständig sein soll. Jedoch kommt bei der Überprüfung mit dem "Visualizer" ein falsches Gelände heraus (siehe Abb. 33). Dabei wird das Gelände auf seine Hälfte reduziert bzw. verschnitten, was nicht passieren dürfte, da Gelände und TK10-Ausschnitt die gleiche Ausgangsgröße besitzen.

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

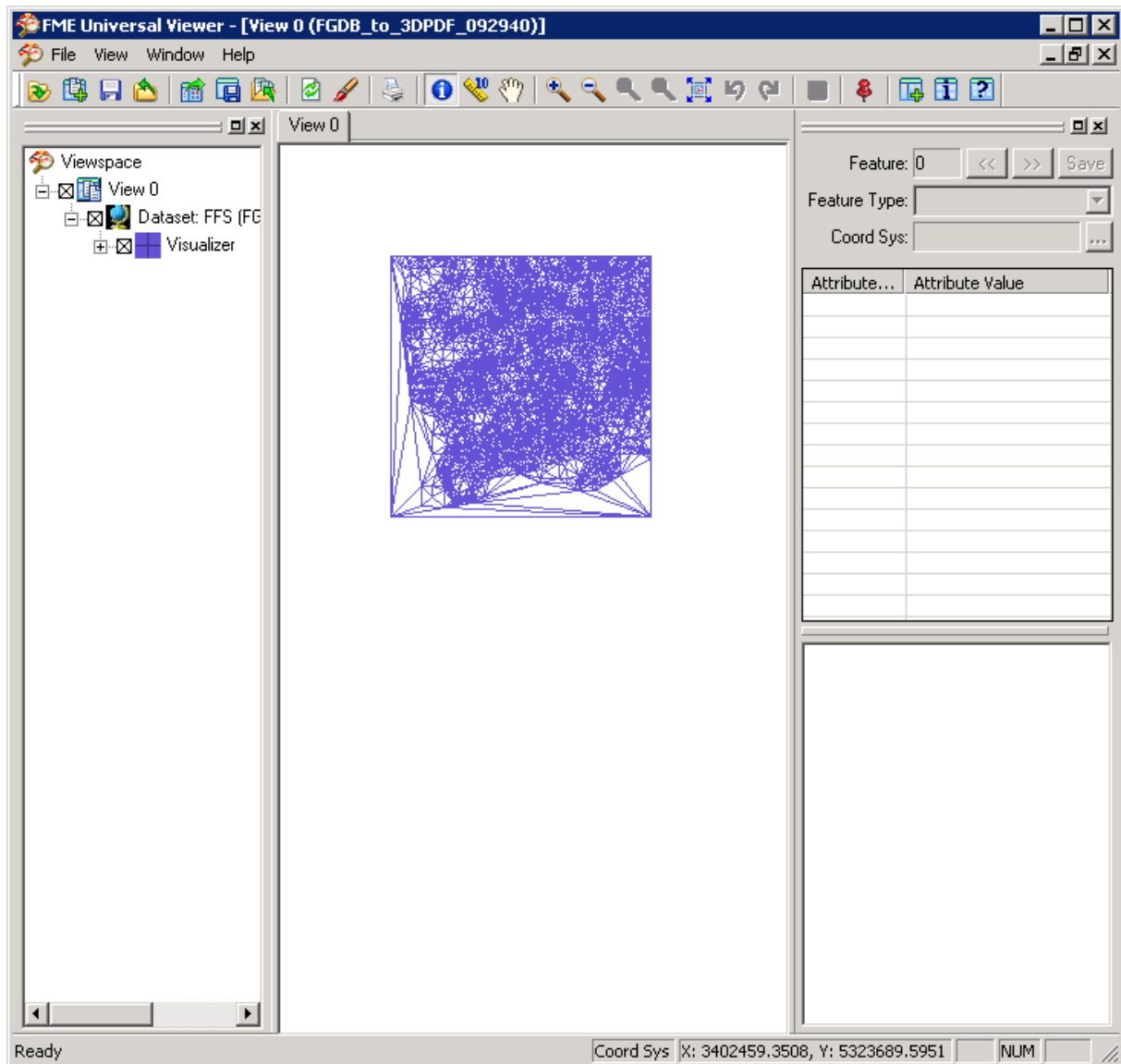


Abbildung 34: Exakte TIN-Generierung

Durch das Entfernen des "BoundingBox"- und "Clipper"-Transformers, kann dieses Problem behoben werden. Das Entfernen dieser Transformer ist eine logische Schlussfolgerung, da die Ausgangsdaten bereits gleiche Ausmaße besitzen, also deckungsgleich sind, und dementsprechend keine zusätzliche Verschneidung mehr benötigen. Ein exaktes TIN wird demnach berechnet, wie Abbildung 34 aufweist.

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

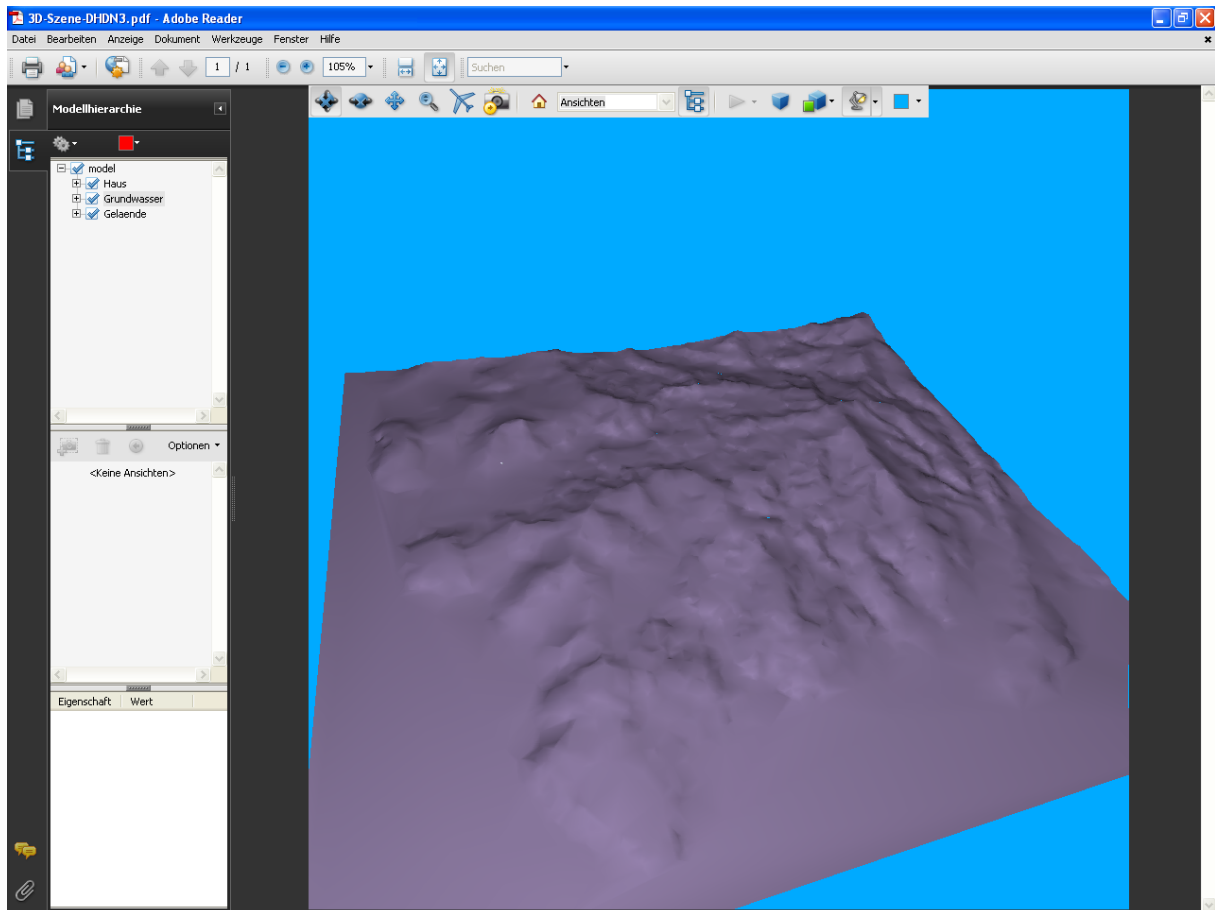


Abbildung 35: 3D-Geländeoberfläche in Adobe Reader

Beim Test das exakte TIN in ein 3D-PDF umzuwandeln (zunächst ohne die TK10 zur Orientierung) wird folgendes zufriedenstellendes Ergebnis erzielt (Abb.35).

Letztlich soll die TK10 für eine bessere Orientierung und schönere Visualisierung des Gebietes eingebunden werden. Leider taucht beim Durchlauf der 3D-PDF-Erstellung stets folgendes Problem in der Log-Datei auf: „offending Plug-In pdf/pdf“, was auf ein fehlendes Plug-In für die PDF-Erstellung hinweist. Diese Fehlermeldung kann jedoch nicht richtig sein, da die Plug-Ins alle im Vorfeld installiert wurden. Nach intensiver Fehlersuche lag das Problem an der Umwandlung und Drapierung des TK10-Bildes auf das Gelände. Das Ausblenden (*disable*) des Transformers "AppearanceStyler" wies den gesuchten Fehler auf. Ohne diesen Transformer gelingt eine 3D-PDF-Umwandlung. Jedoch wird das Bild nicht auf dem Gelände dargestellt. Mit dem Versuch einen anderen Ausschnitt der TK10 auf das Gelände zu drapieren, klappt die gewünschte Darstellung. Trotzdem ist der kleinere TK10-Ausschnitt auf das gesamte Gelände drapiert und somit verzerrt und nicht lagerichtig. Da der flächendeckende TK10-Ausschnitt aus mehreren Einzelbildern über ein Raster-Mosaik zusammengesetzt und als ein Rasterbild abgespeichert wurde, ist es naheliegend, dass Fehler in der Dateistruktur dazu führen, dass das zusammengesetzte Rasterbild nicht auf

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

dem Gelände darstellbar ist, obwohl die Überprüfung über den "Visualizor" es richtig anzeigt. Mit einem kleineren Testgebiet, in welchem Geländeaster und TK10-Ausschnitt die gleiche Ausgangsgröße besitzen und somit deckungsgleich sind, kann das gewünschte Ergebnis erreicht werden.

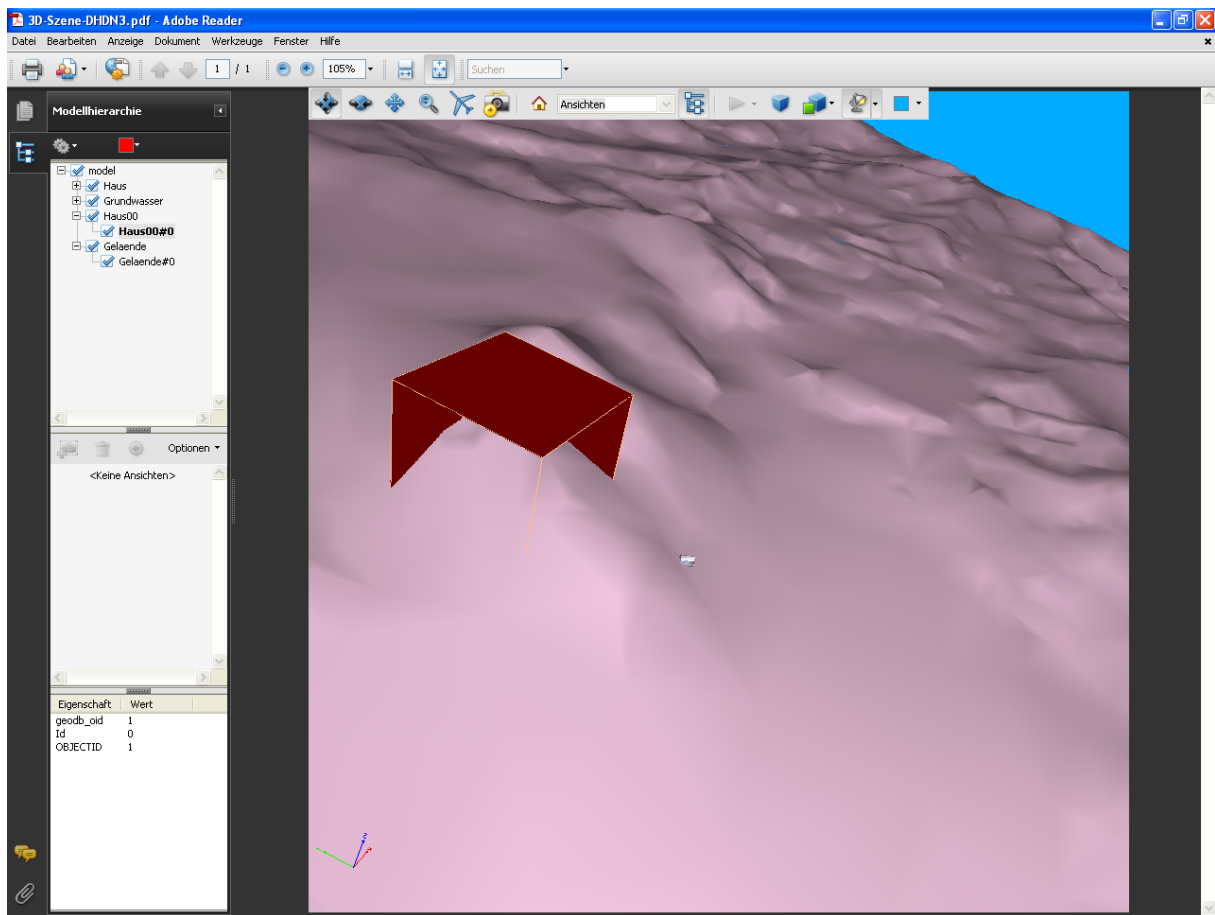


Abbildung 36: Fehlerhafte Darstellung des Gebäudeklotzes

Ein letzter Fehler tritt bei der Darstellung des Multipatches auf, welches aus einem extrudierten Polygon-Feature erstellt wurde. Hier werden die Flächen nicht vollständig dargestellt. In der Drahtmodellansicht ist zu erkennen, dass das Objekt komplett dargestellt und nicht defekt ist (vgl. Abb. 36 und 37).

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

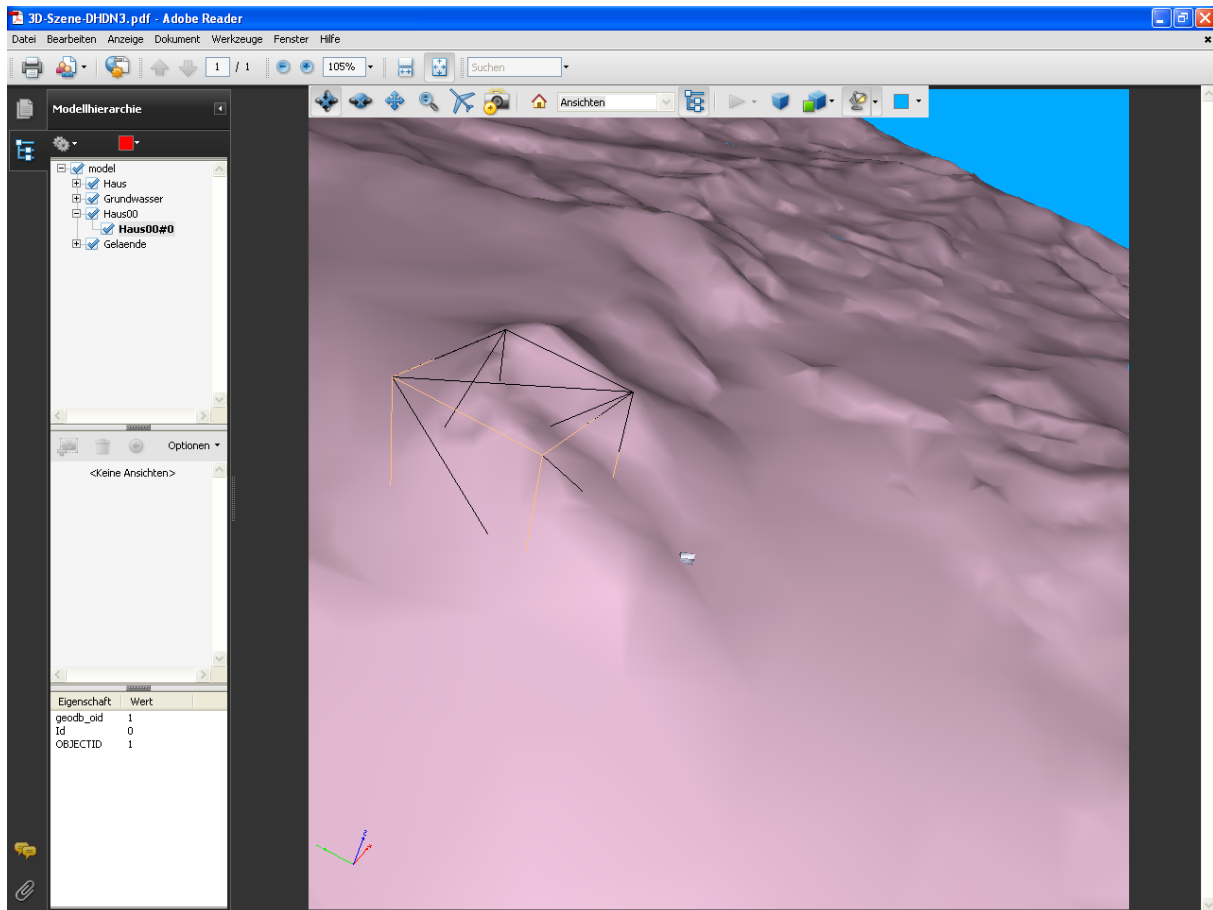


Abbildung 37: Drahtmodell zeigt Vollständigkeit des Gebäudeklotzes

Dieser Fehler kann derzeit noch nicht behoben, geschweige denn eine Erklärung für dieses Phänomen gefunden werden. Das Google-SketchUp-Modell, welches ebenfalls in ein Multipatch umgewandelt wurde, wird in dem Fall exakt und ohne Fehler dargestellt. Leider lassen sich im Dokument selbst keine Ansichten speichern und aus der FME-Workbench heraus ist eine Default-Ansicht ebenfalls nicht möglich. Dies ist lediglich in der Adobe Acrobat Pro-Version möglich.

Eine weitere Möglichkeit ein 3D-PDF kostengünstig ohne über Adobe Acrobat Pro und den 3D-Converter ist die Erstellung mittels MashLab von LaTeX. Im Internet kann eine ausführliche Anleitung⁹³ hierzu aufgerufen werden. Dazu ist zunächst die Installation von LaTeX notwendig. Weiterhin kann darin eine aus ArcGIS exportierte VRML-Datei in MeshLab importiert werden. Diese wiederum muss als U3D-Datei exportiert werden, welche über den Befehl *pdflatex* in ein 3D-PDF überführt werden kann. Jedoch ist nach reichlicher Testung dieser Methode eine Konvertierung in das 3D-PDF nicht möglich, sodass die

⁹³ <http://www.goermezer.de/content/view/486/616/>

weitaus einfachere Variante mit der FME-Workbench gewählt wurde. Auf Grund der bereits vorhandenen Lizenz in der LUBW ist diese auch wesentlich geeigneter.

6.3. Variante Globe-Service

Mit dieser zweiten Variante die Informationen der Grundwasserdatenbank dreidimensional darzustellen und für die Anwender zugänglich zu machen, ist es möglich, die ausgewählte Szene nach Belieben zu visualisieren und analysieren. Gerade weitere Analysemethoden sind wichtig für die Betrachtung der zu untersuchenden Gebiete und Grundwasserstände hinsichtlich ihrer bestehenden oder geplanten Bebauung. Zudem können für jede Fachanwendung eigene Analysefunktionen entwickelt und bereitgestellt werden, was die Bearbeitung mit den 3D-Daten um einiges vielfältiger und interessanter gestaltet. Demnach wird nachfolgend näher auf die nötigen Datenstrukturen für einen Globe-Service und seine Veröffentlichung über den ArcGIS Server für die Bereitstellung der Daten im ArcGIS Explorer eingegangen.

6.3.1. Datenbereitstellung über einen 3D-Globe-Service

In diesem Abschnitt wird zunächst auf die Bereitstellung eines Dienstes über den ArcGIS Server eingegangen. Es gibt einige unterschiedliche Dienste (Services), wie beispielsweise den Karten-Service, mit dem Kartendokumente in Internet veröffentlicht werden können. Andere Dienste sind z.B. der Geokodierungs-Service, Geodaten-Services, Geoverarbeitungs-Service, Globe-Service oder Image-Service. Für die Betrachtung dreidimensionaler Szenen ist wohl der Globe-Service am interessantesten für diese Arbeit. Im Folgenden wird zunächst der ArcGIS Server näher definiert und danach kurz auf den Globe-Service eingegangen.

ArcGIS Server

Die Möglichkeit GIS-Ressourcen innerhalb des Unternehmens und außerhalb über das Internet für andere Anwender bereitzustellen, ist mit dem Web-GIS ArcGIS Server geboten. "GIS-Ressourcen sind [...] Karten, Globen, Adressen-Locators, Geodatabases und Werkzeuge"⁹⁴, welche als Dienste über den ArcGIS Server bereitgestellt werden. Weiterhin kann mit Hilfe des ArcGIS Servers zusätzlich auf die in den Ressourcen implizierten GIS-Funktionen zugegriffen werden. Es ist ebenfalls denkbar benutzerdefinierte Anwendungen mit den GIS-Ressourcen zu erstellen. Beispielsweise können Webanwendungen für die Benutzung im Web-Browser erstellt, oder Web-Services, welche Funktionen für Anwendungen bereitstellen, erzeugt werden. Web-Services besitzen keine Benutzeroberfläche, da sie von Softwareanwendungen verwendet werden. Sie

⁹⁴ <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/005300000001000000.htm>

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

repräsentieren GIS-Ressourcen, die auf einem Server in einem lokalen (z.B. unternehmensintern) oder einem größeren Netzwerk (z.B. Internet) für Clients bereitgestellt werden. Diese Clients haben somit Zugriff auf die durch den Service bereitgestellte GIS-Ressource. Es ist denkbar "Karten-, Geokodierungs-, Globe-, Geodaten-, Geoverarbeitungs-, mobile Daten- und Netzwerkanalyse-Web-Services [zu]erstellen. Darüber hinaus können [...] OGC WMS-Services, Web Feature Services (WFS) und Web Coverage Services (WCS) sowie KML-Services (Keyhole Markup Language)"⁹⁵ generiert werden. Weiterhin können mobile Anwendungen für beispielsweise Laptops, PDAs o.ä. entwickelt werden, um Anwendern die Möglichkeit zu bieten auch im Offline-Modus auf eine bestimmte Anwendung und räumliche Daten zuzugreifen. Darüberhinaus können Desktop-Anwendungen erstellt werden, welche über eine Client-Server-Architektur ablaufen. Zur Verfügbarkeit der geographischen Informationen über den ArcGIS Server müssen zunächst GIS-Ressourcen mittels ArcGIS Desktop erzeugt werden. Daraufhin ist es möglich, diese als Service durch ArcGIS Server zu veröffentlichen und anschließend vom Client zu verwenden.

Globe-Service

Mit dem Globe Service können dreidimensionale Daten aus einem vorher erstellten ArcGlobe-Dokument als Dienst über ArcGIS Server veröffentlicht werden, um ihn für andere Nutzer zugänglich zu machen. Zunächst ist die Erstellung eines Globe-Dokuments mit den zu veröffentlichen Layer notwendig. Mit ArcGlobe können große Datenmengen auf einer Globusoberfläche visualisiert werden. Somit ist die Handhabung umfangreicher GIS-Daten gewährleistet. Zusätzlich können effiziente Anzeigen und Abfragen von Rasterdaten durchgeführt und alle möglichen Analysen der Geoverarbeitungswerkzeuge auf die Daten angewandt werden. Anders als in einem Map-Service, in welchem auf das gesamte Kartendokument verwiesen wird, können die einzelnen im Dienst enthaltenen Layer separat ausgewählt werden. Daher wird beim Globe-Service auch von einer „Layersammlung“ gesprochen. Die Wiedergabe der Globe-Dokument Eigenschaften ist dabei jedoch nicht gegeben. Nach ESRI wird der ArcGIS Explorer als Anzeigeanwendung für Globe-Services empfohlen. Bei der Erstellung eines Globe-Service ist die Verbindung zum ArcGIS Server, sowie die Extension 3D Analyst nötig. Außerdem ist auf ESRI's Empfehlung hin, die geeignete Anzeigeanwendung für einen Globe-Service der ArcGIS Explorer.

⁹⁵ <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/005300000001000000.htm>

6.3.2. Datenstrukturen und Datenimport in ArcGIS Explorer

Grundlegend ist die Einbindung der erforderlichen Daten über *Inhalte einfügen* in ArcGIS Explorer möglich. Hier können Datenformate, wie in 5.3.3. bereits erwähnt, importiert werden.

Für die Darstellung im ArcGIS Explorer eignet sich als dreidimensionaler Datentyp nur das Raster, da TIN und Terrain nicht importierbar sind. Das Terrain könnte zwar über die jeweilige Geodatabase hinzugefügt werden, jedoch wird es nicht im Auswahlfenster aufgeführt. Gleichmaßen kann ein TIN nicht in eine Geodatabase importiert werden (lediglich Raster, Feature Classes und Tabellen können dieser hinzugefügt werden). Demzufolge kann nur das Raster als einziger Datentyp mit Höhenwerten in ArcGIS Explorer hinzu geladen werden.

Um die restlichen Daten im ArcGIS Explorer exakt darstellen zu können, ist das KML-Format am besten geeignet. Hiermit werden die Häuser lagerichtig im Gelände abgebildet. Ein Schweben der Objekte entfällt. Außerdem können Multipatches, die direkt aus einer Geodatabase in ArcGIS Explorer hinein geladen werden, komplett angezeigt werden. Weiterhin ist es möglich mit dem KML-Format erstellte Gebäude aus Google SketchUp in den Viewer zu laden. Diese werden nach der Bearbeitung, wie in 6.1.3. erläutert, exakt dargestellt.

Ein weiteres mögliches Format wäre CityGML, welches mittels Konverter in Shapefiles umgewandelt werden kann. Jedoch liegt das Hauptaugenmerk hierbei auf Gebäude- und Stadtmodellen und kann im ArcGIS Explorer nicht importiert werden.

6.3.3. Veröffentlichung als Globe-Service und Import in ArcGIS Explorer

Um einen Globe-Service zu veröffentlichen und somit für andere Anwender Daten zugänglich und verfügbar zumachen, muss zunächst ein ArcGlobe-Dokument erstellt werden. Das heißt, alle erforderlichen Daten sind in ArcGlobe zu importieren. Hierbei müssen die Features alle in Multipatches umgewandelt werden. Da die Ausgangsdaten unterschiedliche Datenstrukturen aufweisen, welche in ArcScene wiederum problemlos darstellbar sind, können diese nicht in ArcGlobe dreidimensional dargestellt werden. Hier werden die Daten nur auf die Oberfläche als Draping-Layer gelegt. Wird das Feature jedoch in ein Multipatch umgewandelt, können die dreidimensionalen Eigenschaften übernommen werden und die jeweiligen Features als Floating-Layer exakt dargestellt werden. Wichtig bei der Einbindung der Daten in das Globe-Dokument ist die Angabe relativer Pfade, damit die vorerst noch lokalen Dateipfade beim Datenaustausch auf den Server nicht verloren gehen. Hierzu kann in ArcGlobe eine Einstellung in den Globe Dokument Einstellungen getätigt werden: *Store relative Pathnames to data source*. Nach der Erstellung des Globe-Dokuments (.3dd) kann auf dem ArcGIS Server (bei der LUBW rips2010) ein neuer Globe-

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

Service anlegt werden (*add new Service*). Diesem wird ein Name vergeben, wie im Testbeispiel "Globe_test_3". Nun sind die einzelnen Ebenen des Globe-Dokuments über den ArcGIS Server (<http://rips2010/arcgis/services>) mit dem Dienst in den ArcGIS Explorer importierbar (*Inhalt hinzufügen/ GIS-Services*). Es können auch andere Server verbunden werden, wie ArcIMS, WMS oder GeoRSS. Damit die Daten schnell abrufbar sind, muss ein Daten-Cache des erstellten Globe-Service erzeugt werden. Dieser wird in der Registerkarte *Caching* der Service-Eigenschaften erstellt. Diese Caches werden nach Verzeichnisauswahl auf dem Server gespeichert. ESRI empfiehlt die Server-Cache-Verzeichnisse mit einem virtuellen Verzeichnis auf dem Webserver zu verknüpfen, wodurch alle gecacheten Kacheln abrufbar sind und die Performanz gesteigert wird.

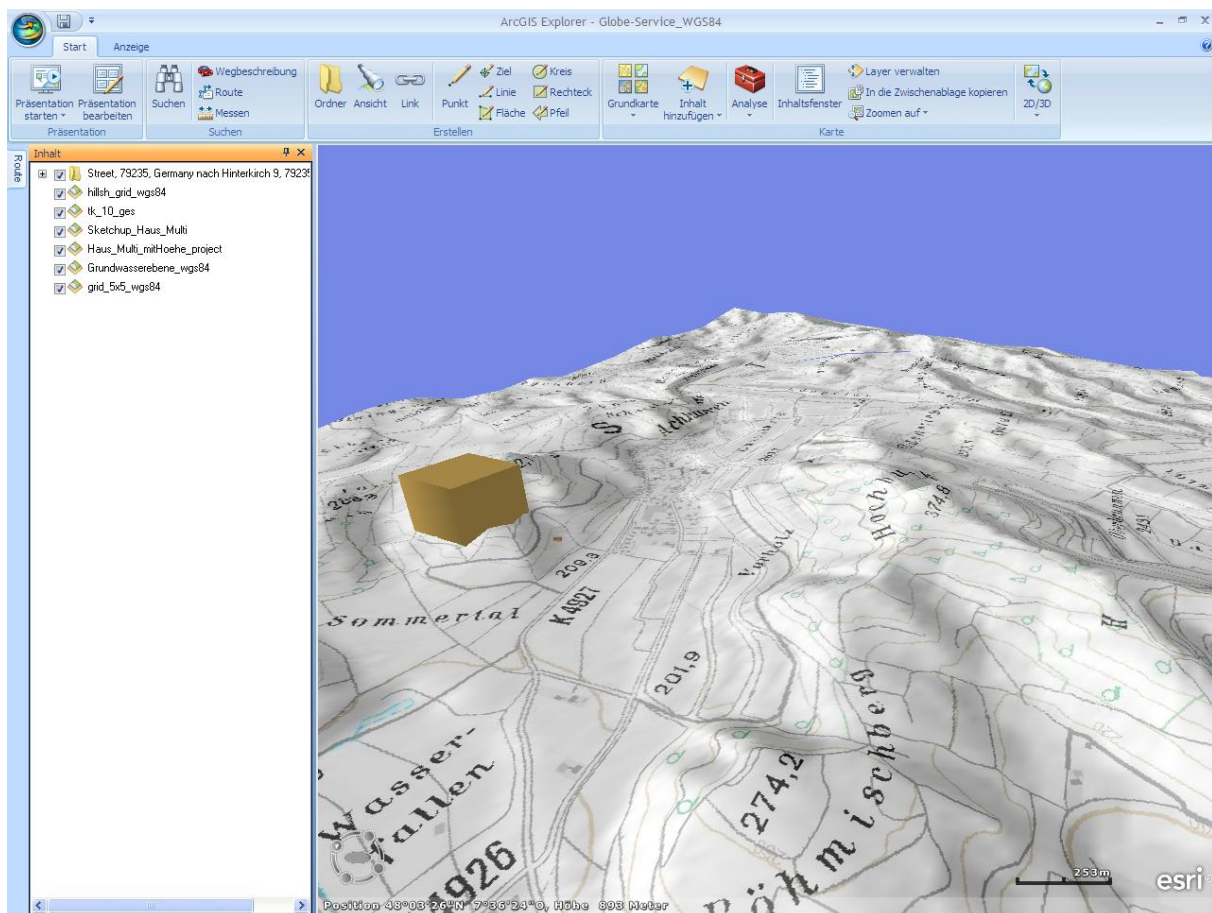


Abbildung 38: Globe-Service-Layer in ArcGIS Explorer

In Abbildung 38 ist das erfolgreiche Importieren der gesamten Globe-Service-Layer zu sehen. Leider wird die TK10, also das Rasterbild, sehr stark drapiert, was einen unschönen Rand zur Folge hat. Jedoch ist die Karte lagerichtig, was beim Routingtest (siehe Abb. 45) zu sehen ist.

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

6.3.4. Einbindung in den Workflow

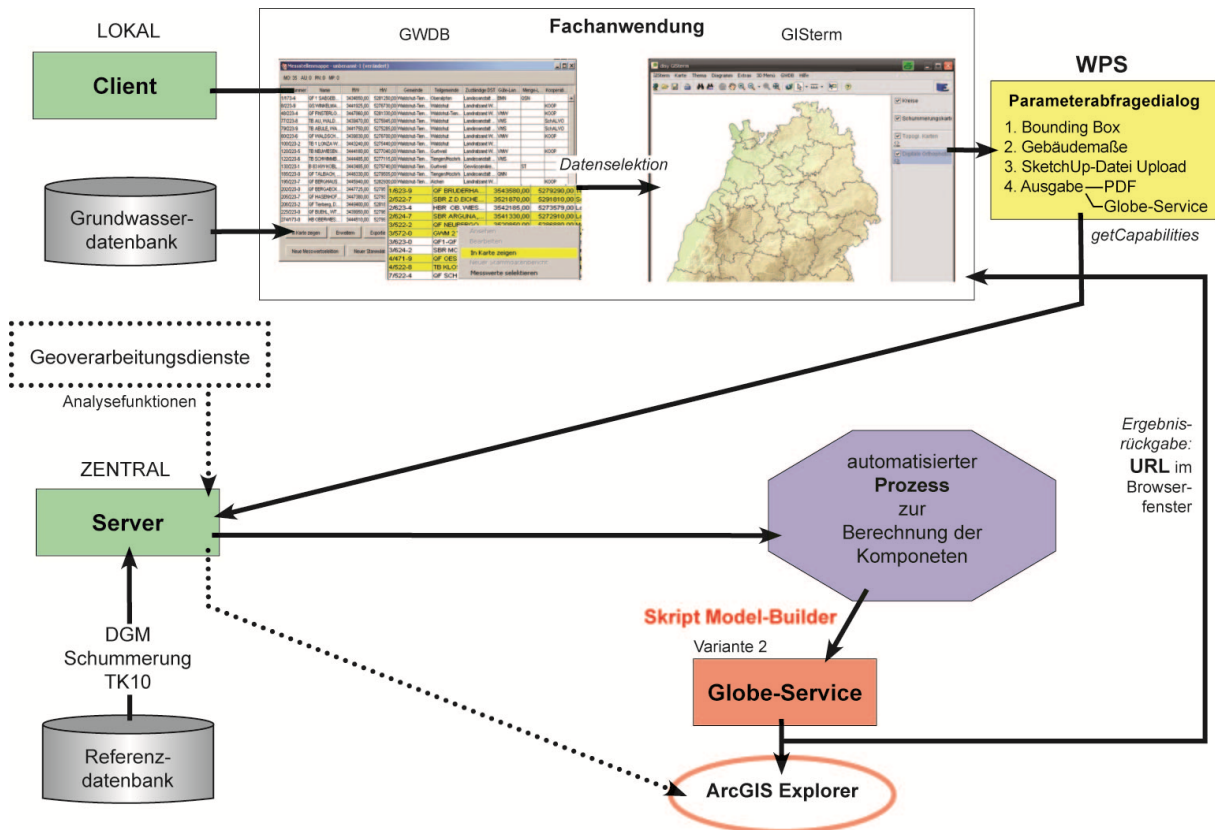


Abbildung 39: Workflow mit Variante Globe-Service

In der Variante mit dem Globe-Service (Abb. 39) ist der Grundaufbau ebenfalls wie in 6.1.4. Die notwendigen Komponenten für einen Globe-Service wurden bereits in 6.3.1. diskutiert. Es ist denkbar diese Umwandlung über ein Skript in Model-Builder von ArcGIS Desktop auszuführen, welches alle erforderlichen Datenkonvertierungen durchführt, um das für den Globe-Service benötigte ArcGlobe-Dokument zusammenzustellen. Dieser Dienst kann dann auf dem ArcGIS Server veröffentlicht werden. Der Nutzer bekommt lediglich eine URL als Ergebnis-Link, mit welcher der Globe-Service in ArcGIS Explorer vom Server aus angefordert werden kann. Dazu ist neben der Ergebnis-URL ein zusätzlicher Link für den Download von ArcGIS Explorer notwendig, falls dieser durch frühere Anwendungen nicht bereits installiert ist. Weiterhin muss eine Kurzbeschreibung zur Verwendung von ArcGIS Explorer für die Anwender zusammengestellt werden, damit diese in einfachen und kurzen Schritten zu einer optimalen Bereitstellung der 3D-Szene gelangen. In dieser Beschreibung müssen Datenimport, Grundlagenfunktionen und die möglichen Analysefunktionen aufgeführt sein. In diesem Zusammenhang ist die Möglichkeit der Einbeziehung von Geoverarbeitungsdiensten zu erwähnen, welche in Abbildung 39 durch Punktlinien dargestellt sind. Diese sind zwar nicht Inhalt dieser Arbeit, werden jedoch für weitere Bearbeitungen der über den Globe-Service verfügbaren Daten in Betracht gezogen. Diese

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

Geoverarbeitungsdienste werden über ArcGIS Desktop erstellt und ebenfalls über den ArcGIS Server für den Nutzer bereitgestellt. Mehr zu diesem Thema wird ab 7.3. kurz erläutert.

6.3.5. Aufgetretene Schwierigkeiten mit Globe-Service und ArcGIS Explorer

Die Bearbeitung und Fehlersuche dieser Variante ist weit aus problematischer als in Variante 1 zum 3D-PDF und nahm auch viel mehr Zeit in Anspruch. Jedoch war es möglich alle auftretenden Fehler oder Schwierigkeiten weitestgehend zu lösen.

Zunächst wird der ArcGIS Explorer auf seine Darstellungsmöglichkeiten der importierbaren Datenformate und -strukturen getestet. Dabei stellt sich beim Test ohne Globe-Service heraus, dass die Möglichkeit des Imports doch etwas eingeschränkt ist. Beispielsweise ist der Import vom ArcGIS Rasterformat GRID selbst nicht möglich, was nachvollziehbar ist, da die Höhenangaben verloren gehen. Ein versuchsweise importiertes TIFF-Format kann zwar hinzugefügt werden, wird aber trotz Auflistung als Ebene im Inhaltsfenster nicht dargestellt.

Weiterhin werden Multipatches, die aus einer File-Geodatabase importiert werden können, nicht vollständig dargestellt (fehlende Flächen). Dies ist wohl auf ihren Aufbau aus Dreiecken zurückzuführen. Hier tritt außerdem das Schwebeproblem auf, obwohl die Multipatch-Datei mit Höhenwerten ausgestattet ist. Eine Umwandlung in ein KML-Format über das Geoverarbeitungswerkzeug *Layer to KML* ermöglicht die Darstellung der Objekte ohne Schweben über dem Gelände.

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

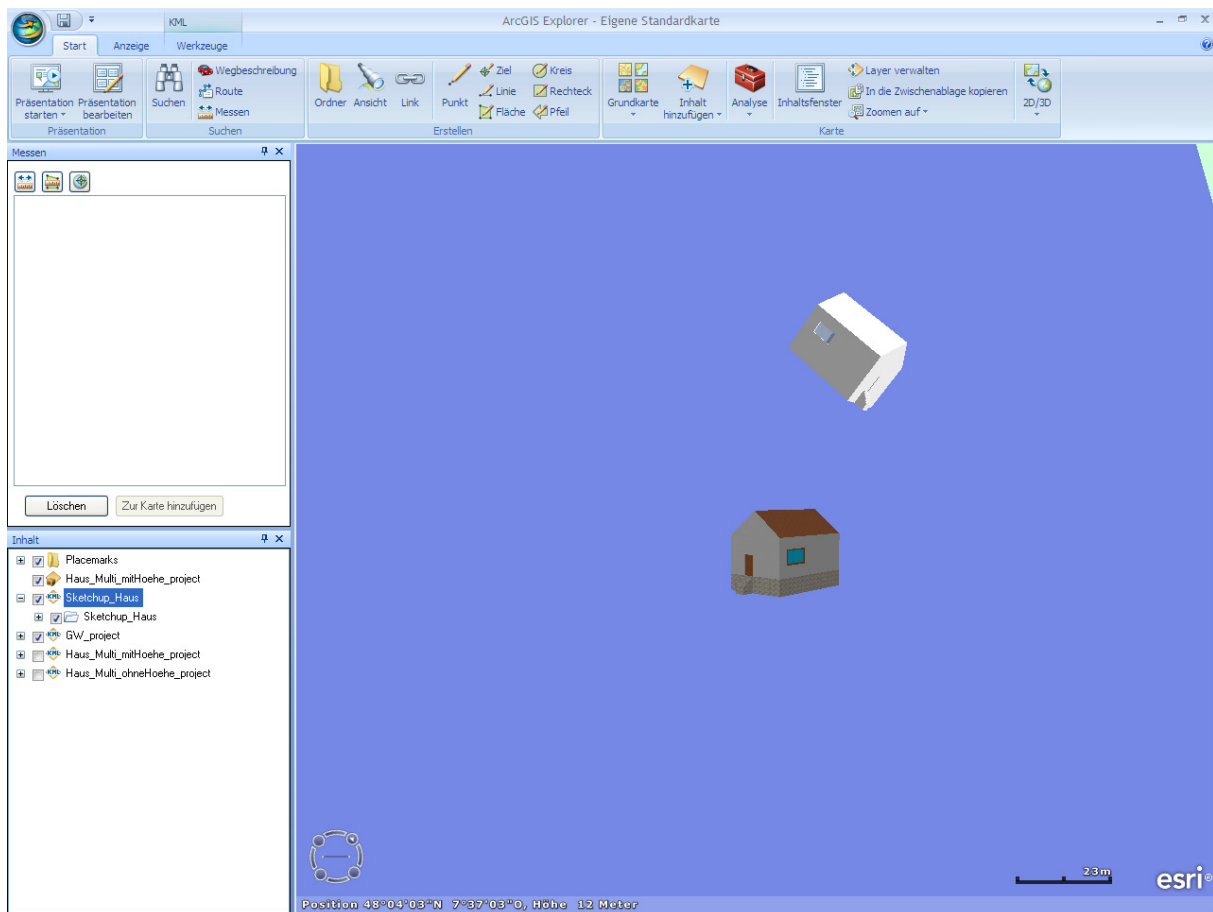


Abbildung 40: Fehlerhafte Darstellung des SketchUp-Hauses (weiß)

Die Einbindung eines in Google SketchUp erstellten Gebäudes war bisweilen auch etwas schwierig, da die Darstellung der KML-Datei des Gebäudes wesentliche Fehler aufweist (Schweben über den Gelände in vollkommen verdrehter Weise, siehe Abb. 40) und die Umwandlung in eine Multipatch-Datei zunächst unlösbar schien. Doch durch reichliche Recherche in Foren von ESRI-Nutzern gelang es, aus der Google SketchUp-Datei ein in ArcGlobe importierbares Multipatch zu gewinnen (siehe 6.1.3.). Dieses kann im Vorfeld oder in der Bearbeitung bzw. Umwandlung in eine Multipatch-Datei georeferenziert werden. Die Höheneigenschaften müssen hier jedoch über den Editor hinzugefügt werden.

Weiterhin bestand das Problem, dass aus einer ArcScene-Datei kein für einen Globe-Service erforderliches Globe-Dokument erstellbar ist. Allerdings können durch die Umwandlung der Polygon-Features in Multipatch-Features, Daten in ArcGlobe als Floating-Layer eingefügt werden, sodass eine 3D-Ansicht von Gebäuden und Gewässerebene möglich ist.

Zudem lag die Vermutung nahe, dass in ArcGlobe kein Untergrund und somit keine Gewässergrenze dargestellt werden kann, da ArcGlobe mit Daping-, Elevation- und Floating-Layern arbeitet. Hier konnte zunächst der Grundwasser-Layer nur in Bezug zu einem Elevation-Layer mit Höhenangaben ausgestattet werden. Demzufolge passt sich das

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

Grundwasser-Polygon an die Geländeebene an und wird auf dieser drapiert, was nicht Ziel der Darstellung ist. In ArcScene ist die Darstellung der Ebenen möglich, da nicht in verschiedene Layertypen unterschieden wird. Dennoch ist es möglich die gewünschten Objekte dreidimensional in ArcGlobe darzustellen. Dabei müssen diese in eine File-Geodatabase importiert und in ArcGlobe geöffnet werden. So werden die 3D-Objekte von vornherein als Floating-Layer angesehen, dreidimensional in exakter Höhe dargestellt und somit nicht mehr drapiert.

Als zusätzliche Schwierigkeit galt die Darstellung der Geländeoberfläche über den Globe-Service. Zunächst wird das Gelände nach der Veröffentlichung und dem darauffolgenden Import der Ebenen des Globe-Service in ArcGIS Explorer nicht dargestellt. Nach intensiver Fehlersuche konnte der nicht berechnete Cache des Globe-Service als Grund für den Fehler ausgemacht werden. Ein solcher Cache ist bei der Veröffentlichung und Nutzung von dreidimensionalen Diensten Voraussetzung für die Darstellung im ArcGIS Explorer.

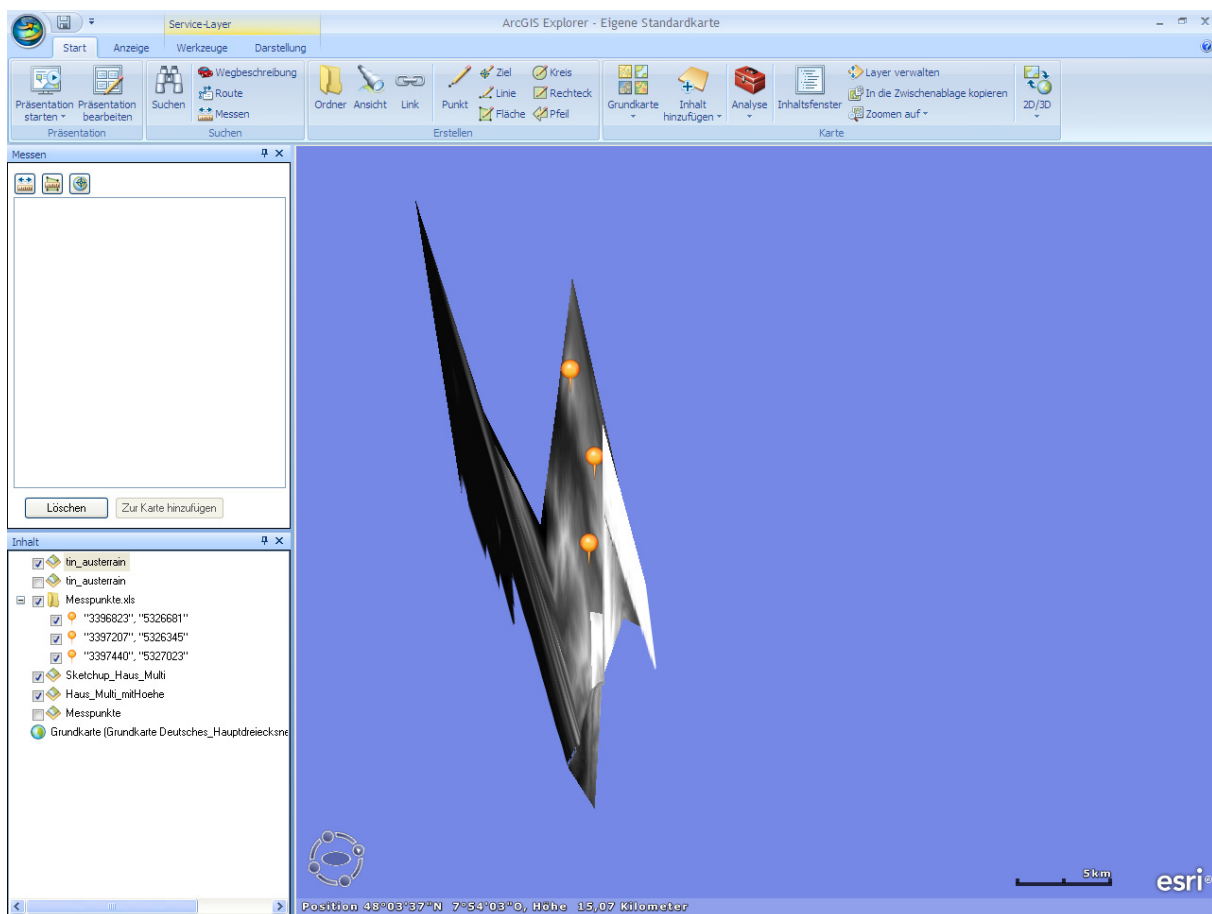


Abbildung 41: Verzerrter Globe-Service-Gelände-Layer

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

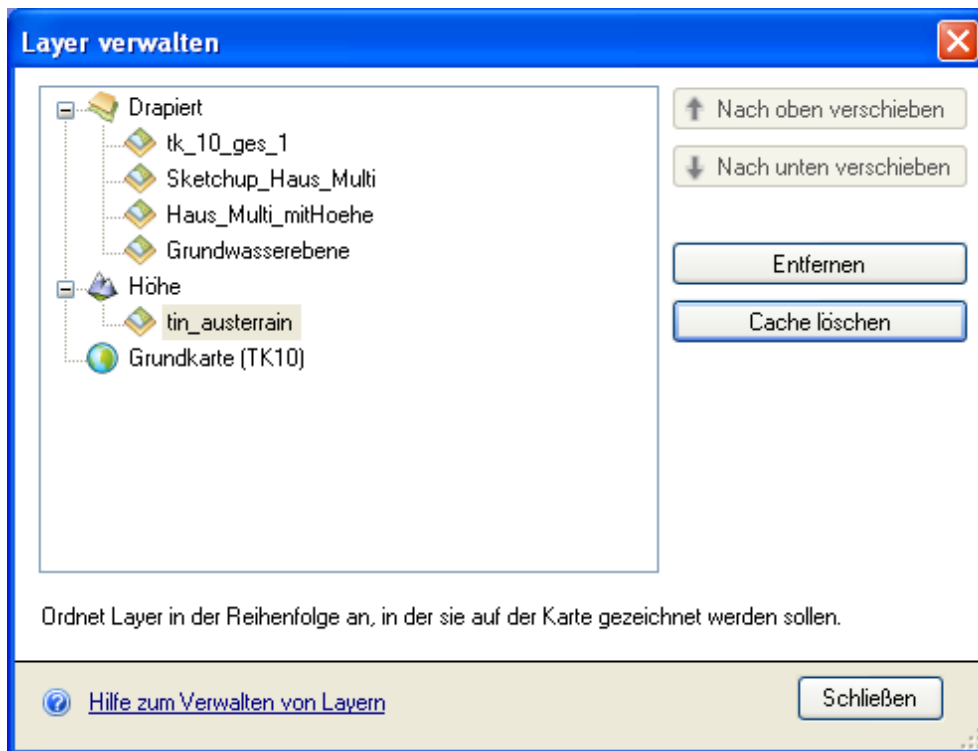


Abbildung 42: Layerverwaltung von ArcGIS Explorer

Nach der Einbindung des Globe-Service nach der Cache-Berechnung folgte eine weitere Komplikation. Da hierbei das TIN als Höhenquelle verwendet wurde, entstand bei der Darstellung des Globe-Service-Layers eine unerklärlich extreme Verzerrung des Geländes (siehe Abb. 41). Im Layer-Verhalten ist die eigentlich als Elevation-Layer im Globe-Dokument gespeicherte Höhenquelle als "drapiert" angegeben, was demnach nicht exakt ist. Eine manuelle Umstellung in eine vom ArcGIS Explorer als Höhenquelle angesehene Eben kann nicht getroffen werden. Hingegen ist in der Layer-Verwaltung im ArcGIS Explorer eine ganz andere Einordnung des Höhen-Layers aufzufinden. Wie Abbildung 42 zeigt, ist hier das TIN als Höhenquelle eingestuft und alle anderen Ebenen wie gewünscht darauf drapiert.

6. Pilothafte Umsetzung der Darstellung von Inhalten der Grundwasserdatenbank für den Bereich Kaiserstuhl

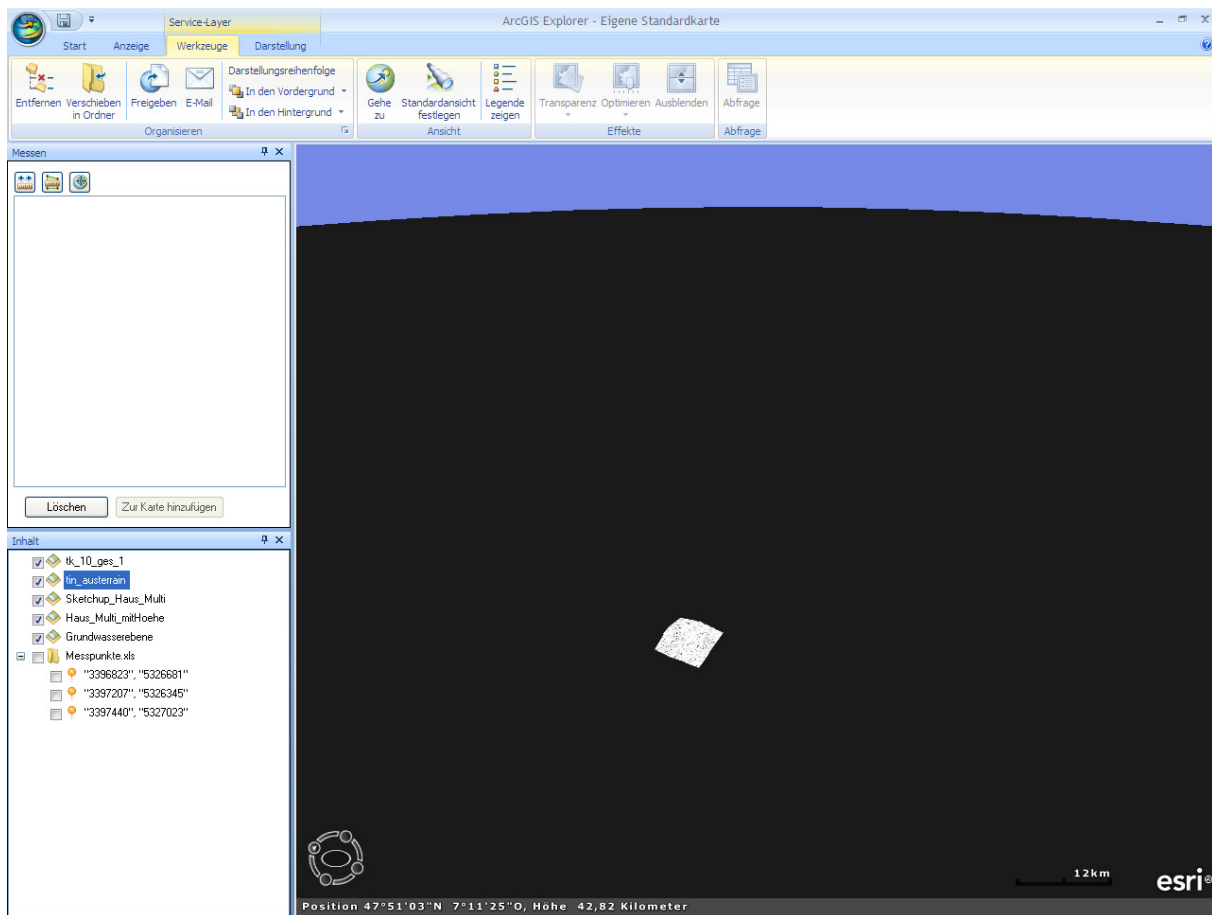


Abbildung 43: Weggezoomte Ansicht von Globe-Service-Gelände-Layer

Ein zusätzliches unerklärliches Phänomen kommt zutage, wenn aus der verzerrten Nahansicht des Geländes heraus gezoomt wird. Bei der Betrachtung des dreidimensionalen Geländes aus einem größeren Abstand verschwinden die Verzerrungen (Abb. 43). Aus diesem Grund entstand die Vermutung, dass dieses Problem auf einen Überhöhungsfehler zurückzuführen ist. Nach reichlicher Fehlersuche konnte dies jedoch ausgeschlossen werden, da weder im Globe-Dokument noch in der geöffneten ArcGIS Explorer-Datei, welche die Globe-Service-Dateien enthält, eine Überhöhung eingestellt wurde. Es kann bisweilen keine Erklärung für das Verhalten der Geländedarstellung mit dem TIN als Höhenquelle gefunden werden. Auch aus diesem Grund entfällt die Verwendung des TINs. Beim Versuch ein Raster als Höhenquelle zu verwenden, kann das gewünschte Ergebnis erzielt werden.

Hinzuzufügen ist, dass das TIN einen weitaus höheren Caching-Rechenaufwand mit sich führt. Zum Vergleich: Das Testgebiet mit einer Ausdehnung von 25 km² benötigte mit dem TIN als Höhenquelle etwa 30 Minuten bei der Cacheberechnung, wohingegen das Raster mit derselben Ausdehnung in etwa 1 bis 2 Minuten berechnet wird.

7. PERSPEKTIVE

Während der Bearbeitung an dem Projekt zur 3D-Visualisierung von den Inhalten in der Fachanwendung der Grundwasserdatenbank sind zusätzliche Möglichkeiten für Datenbezug, Datenübertragung und Analysefunktionen gefunden worden. Eine ausführliche Betrachtung ist jedoch nicht Aufgabe dieser Arbeit und wird daher lediglich als Aussichten bzw. Perspektiven für die Weiterentwicklung dieser Arbeit angefügt.

7.1. Bezug der Datengrundlagen

Zunächst besteht die Möglichkeit das geplante Gebäudemodell des LGL zu verwenden, um bereits bestehende Gebäudebestände auf ihr Heranreichen an den Grundwasserspiegel zu untersuchen. Jedoch wird laut Manfred Gültlinger (LGL Karlsruhe) mit einem Aufbau eines landesweiten Gebäudemodells im LoD2 erst zum 4. Quartal 2011 begonnen. Derzeit befindet sich das LGL in der Aufbauphase des Projektes, was Ausschreibungen und die Beschaffung einer geeigneten Software beinhaltet. Als Datengrundlage werden voraussichtlich ALK-Daten, das landesweite DGM und DOM und aktuelle stereoskopische Luftbilder genutzt.

Im Augenblick wäre es denkbar die bestehenden 3D-Gebäudemolldaten von Karlsruhe, Stuttgart oder anderen Städten als Gebäudedatengrundlagen zu verwenden. Beispielsweise wird das Karlsruher 3D-Stadtmodell, welches unter der Leitung von Herrn Thomas Hauenstein entsteht, aus den ALK-Daten der Stadt erhoben. Dabei werden die Katastergrundrisse beibehalten und durch stereoskopische Auswertungen die Höhen der Firste und Traufen der einzelnen Gebäude bestimmt. Zunächst wurde ein einfaches Klötzchenmodell für das Stadtgebiet Karlsruhe erstellt, welches Gebäude ohne Dächer darstellt. Die Gebäude selbst werden als detaillierte CAD-Konstruktion in 3D Studio Max von der Firma Autodesk erstellt und mit in Adobe Photoshop bearbeiteten Fassadenbildern texturiert. Die Gebäude werden im LoD2 erstellt. Gebäudemodelle im LoD1 sind meistens für Analysen in der Lärmausbreitung geeignet. Trotz dieser -nach den Erfahrungsberichten von Herrn Hauenstein- sehr zeitaufwendigen Methode der Gebäudeerstellung, wird hierüber das beste Ergebnis in Hinsicht auf Detaillierungsgrad und Genauigkeit geliefert. Die im Standardaustauschformat CityGML gespeicherten Daten liegen auf einem zentralen Server im Institut vor. Um sich das 3D-Stadtmodell ansehen zu können, muss bisher der CityViewer der Firma 3DIS gedownloadet werden (siehe Erläuterungen im Abschnitt 5.6). "Eine

7. Perspektive

kontinuierliche Aktualisierung synchron zur Fortführung der ALK ist ebenfalls gewährleistet."⁹⁶

Auch beim Beispiel des 3D-Stadtmodells Stuttgart ist eine "neutrale, offene Datenstruktur"⁹⁷ garantiert. Das Stadtmessungsamt arbeitet und entwickelt das 3D-Stadtmodell zusammen mit der GIS-AG (Arbeitsgemeinschaft von Ämtern bzw. Eigenbetrieben die Geodaten produzieren oder nutzen). Wichtig sind dabei die grundlegenden Normen und Standards der OGC sowie der ISO. Auch in diesem Projekt werden die Daten als CityGML abgelegt. Eine PostgreSQL-Datenbank, ein Apache und Tomcat für eine geeignete Rasterdatenpräsentation sowie einer verfügbare Funktionalität für den Web-Start sind auf einem Produktionsserver eingerichtet. Nach dem Bericht von Mohl und Hollenbach ist ein TIN für das komplette Stadtgebiet Stuttgart vorhanden. Weiterhin stehen sogar Inhalte des Baumkatasters (etwa 120.000 Bäume) zur Verfügung. Im LoD1 liegt der gesamte Gebäudebestand Stuttgarts vor, welcher komplett automatisiert erstellt werden kann. Weitere 170.000 halbautomatisiert erstellte Bauten sind im LoD2 verfügbar, von denen wiederum etwa 450 Gebäude, wie beim Karlsruher 3D-Stadtmodell, aufwendig detailliert über CAD-Konstruktion bearbeitet sind. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart konnten sehr viele, von Studenten texturierte, Gebäude für das 3D-Stadtmodell übernommen werden. Für die Aktualität und Pflege der Daten ist das Stadtmessungsamt verantwortlich.

7.2. Dienstveröffentlichung über Web 3D Service

Wei Shi (2010) erwähnt die Attraktivität der Implementierung "interaktive[r] 3D-Darstellungen von Geodaten über das Internet"⁹⁸, welche jedoch eine große Menge von Daten zur Übertragung sowie eine umfangreiche Rechenzeit mit sich ziehen. Daher sind Computer mit genügend Bandbreite und einer hohen Leistungsfähigkeit notwendig. Weiterhin ist aus diesem Grund eine entsprechend hohe Server-seitige Arbeitsleistung besser für derartige Web-Dienste geeignet. Daher sollte je nach Abhängigkeit der verschiedenen Endgeräte sowie ihrer Bandbreiten und einigen weiteren Kriterien ein OGC-Web-Dienst mit hoher (Thin Client-Thick Server), mittlerer (Medium Client- Medium Server) oder niedriger (Thick Client-Thin Server) Leistung beim Server gewählt werden. Der Web 3D Service ist als eine interoperable Standardimplementation entwickelt worden und wird derzeit noch vom OGC als Standard diskutiert, da er sich momentan in der Entwicklungsphase befindet. Nach Ansicht des OGC "schließt der W3DS die Lücke zwischen *Thin- und Thick Server*"⁹⁹. Dabei

⁹⁶ Hauenstein, 2010, S. 48 ff.

⁹⁷ Mohl & Hollenbach

⁹⁸ Shi, 2010, S. 69

⁹⁹ Shi, 2010, S. 71

7. Perspektive

ist der Client lediglich für das Rendering und die Darstellung des beim Server aus den Daten konstruierten Szenengraphen¹⁰⁰ verantwortlich. Grundlegend ist der W3DS ein Darstellungsservice für 3D-Geodaten, wie Landschaftsmodelle, Stadtmodelle, texturierte Gebäudemodelle, Vegetations- und Straßenobjekte. "Ziel des W3DS ist es, interaktive 3D-Web-Anwendungen [...] zu ermöglichen."¹⁰¹ Der W3DS zeichnet sich durch seine Optimierung effektiven Echtzeitrenderings und -interaktionen mit sehr hohen Frameraten aus. 3D-Daten können im Internetbrowser mit zusätzlichem 3D-Plug-In interaktive Darstellungen oder virtuelle Globe-Applikationen laden. Dabei sind realitätsnahe Szenen durch Einbeziehung von Texturen, Materialien, Animationen, Detailstufen, Beleuchtung und Tonmöglich und eine hohe Performanz ohne Qualitätsverlust gewährleistet. In den dargestellten Szenen können Abfragen (Request) durchgeführt werden, da ähnlich wie bei einem WMS geographische Daten, Informationsebenen, Styles und andere Parameter definiert sind. Jedoch werden nicht die Originaldaten angeboten, sondern nur eine Ansicht dieser. Alle Daten werden über ein Web-Map-Service (WMS) oder eine eigene Datenbank bezogen und können auch mit lokalen Daten verbunden werden. Daher ist auch ein lokaler WMS-Cache möglich sowie Synchronisierungen, um Netzwerkbandbreiten einzusparen und Prozess- und Anfragezeiten zu reduzieren. Jedoch baut der W3DS eher auf einen Web Terrain Service (WTS) auf. Dabei wird der WTS prinzipiell durch die Ausgabemöglichkeit von 3D-Graphikelementen erweitert. Das bedeutet, dass die dreidimensionalen Graphikelemente verschiedener W3DS im Client kombiniert und gemeinsam dargestellt werden. Größtenteils werden X3D-, KML- oder Collada-Datenformate verwendet, da diese zentrale Austauschformate bieten, die eine höhere Durchlaufleistung in geringen Bandbreiten garantieren. Außerdem bieten diese Formate eine bessere Visualisierung sowie Performanz in Hinsicht auf die dreidimensionale Datenübertragung und -darstellung und benötigen weniger Speicherplatz durch ihre geringere Dateigröße. Ebenso sollen "spezielle Konvertierungen und neue Importschnittstellen"¹⁰² über das Datenformat CityGML verbessert und einbezogen werden. Neben der Möglichkeit Daten zu visualisieren, können auch "echte GIS-Analysen und komplexe Anwendungs-Workflows im Intra- und Internet"¹⁰³ durchgeführt werden. Es gibt zwei Varianten, um den W3DS zu verwenden: Einerseits als Generierung einer gesamten 3D-Karte eines bestimmten Gebietes für den Web-Browser, andere 3D Viewer oder als Link in einem Web-Portal. Andererseits kann der W3DS als Streaming-Server genutzt werden,

¹⁰⁰ Ein Szenengraph entspricht einer objektorientierten Datenstruktur. Sie beschreibt die Informationen, welche für das Rendering benötigt werden (z.B. Geometrie, Attribute, Beleuchtung etc.).

¹⁰¹ www.geobranchen.de, 2010

¹⁰² Kulawik, Schilling, & Zipf, 2009

¹⁰³ www.geobranchen.de, 2010

7. Perspektive

wie beispielsweise Google Earth, um notwendige Geodaten-Kacheln Stück für Stück zu laden.

Leider ist der W3DS derzeit noch kein allgemeiner Standard, wird also nur in wenigen Fällen wie bereits beim Projekt www.gdi-3d.org im Client (XNavigator) verwendet. Daher ist dieser Service nur als Ausblick aufgeführt und könnte vielleicht in näherer Zukunft für die Bereitstellung dreidimensionaler Daten über das Web dienen.

7.3. Möglichkeit der Verwendung von Analysefunktionen im ArcGIS Explorer

Innerhalb des ArcGIS Explorers können Geoverarbeitungswerkzeuge über die Analyse galerie verwendet werden. Diese lassen sich mittels ArcGIS Desktop erstellen und über den ArcGIS Server als Geoverarbeitungs-Services veröffentlichen. Daher ist es möglich auch eigens erzeugte Werkzeuge, sogenannte Tasks, für eine bestimmte Fachanwendung, wie die der Grundwasserdatenbank, bereitzustellen. Die gängigsten Werkzeuge zur Geoverarbeitung sind Sichtfeld-, Reisezeit- und Standorteignungsanalysen. Generell werden Informationen für das Analysewerkzeug über eine Eingabeaufforderung an den ArcGIS Server gesendet, analysiert und verarbeitet. Ein räumliches oder nicht räumliches Ergebnis wird vom Service zurückgegeben. Räumliche Ergebnisse können beispielsweise ein Polygon zur Reisezeitanzeige sein, wohingegen nicht räumliche Ergebnisse z.B. die Anzahl vom Hochwasser betroffener Gebäude sind.

7. Perspektive

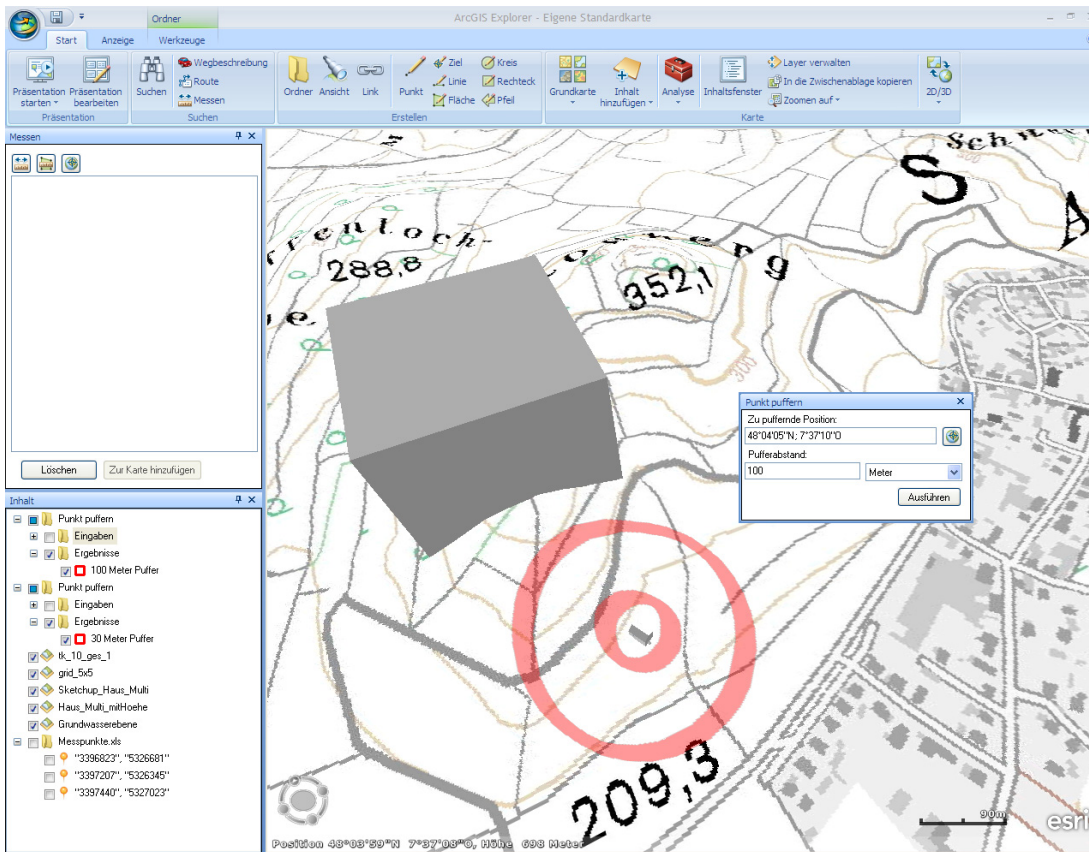


Abbildung 44: Analysefunktion Pufferung im ArcGIS Explorer

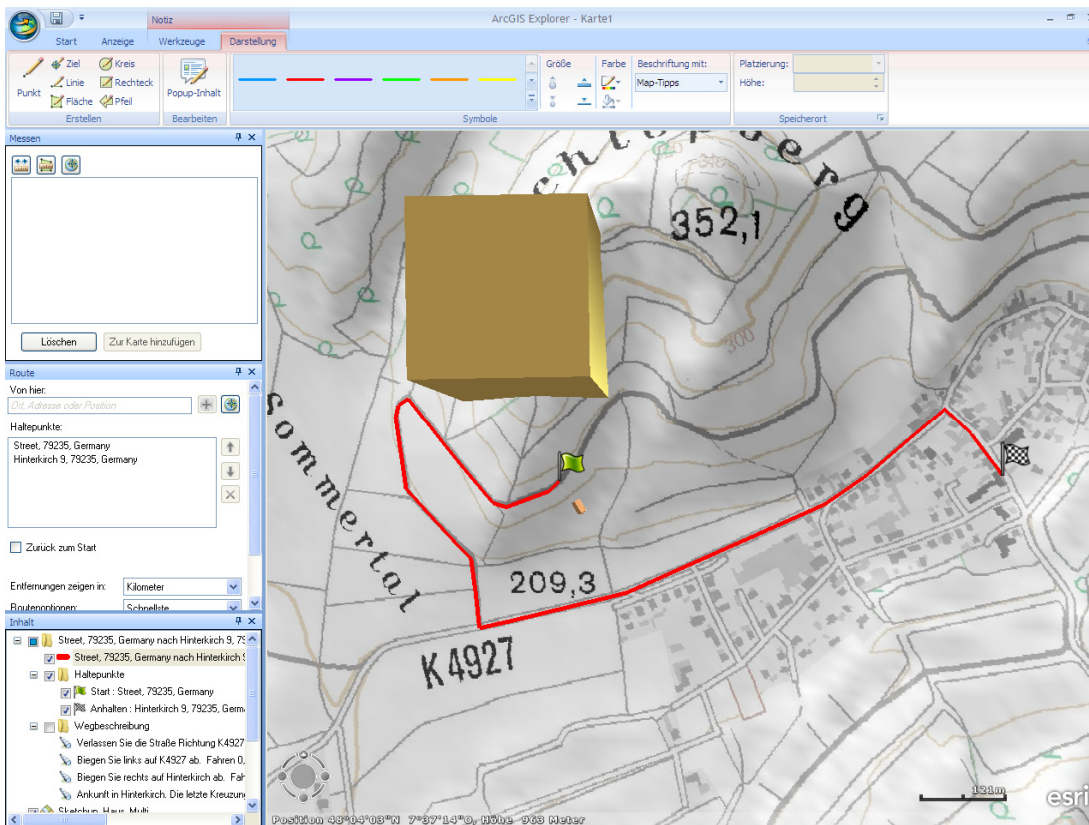


Abbildung 45: Analysefunktion Routing im ArcGIS Explorer

7. Perspektive

Grundlegend stellt der ArcGIS Explorer einige Standardfunktionen bereit, welche für die Analyse der zu untersuchenden Geodaten notwendig sind. In der Analysepalette selbst sind die Standardwerkzeuge nutzbar. Bereits vorhandene Werkzeuge, wie das Puffern eines Punktes (siehe Abb. 44) oder das Erstellen einer Route können verwendet werden. Dabei ist die Verwendung des WGS84-Koordinatensystemes notwendig, damit beispielsweise die Routingstrecke exakt auf der TK10 liegt (vgl. Abb. 45). Außerdem können eigene Werkzeuge (🔨) über die Funktion *Von URL hinzufügen...*, welche eine Verbindung mit dem ArcGIS Server erfordert, über einen Geoverarbeitungs-Service (🏠) hinzugefügt und verwendet werden. Gleichzeitig ist es möglich die bereits durchgeführten Analysen im Verlauf nachzuvollziehen und zu verwalten (Abb. 46).

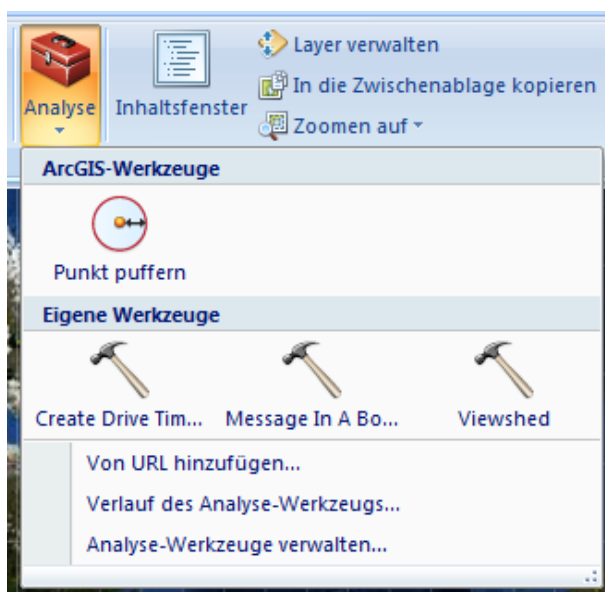


Abbildung 46: ArcGIS-Werkzeuge in ArcGIS Explorer

Beim erfolgreichen Ausführen eines Werkzeugs wird das Ergebnis entweder als "Feature-Layer (📍, 📍 und 📍), Raster-Layer (📊), Layer-Pakete (🏠) und Karten-Service-Layer (📄)"¹⁰⁴ dem Dokument hinzugefügt. Außerdem können Tabellen (📄), Links (📄) oder andere räumliche Objekttypen, wie "Text, Ziffern, True/ False-Werte und Daten sowie der Längenmaßeinheitstyp"¹⁰⁵ die mittels Notizsymbol (📄) dargestellt werden.

Es ist denkbar, dass über eine Sichtbarkeitsanalyse eine Aussage zum Heranreichen des Grundwasserspiegels an das untersuchte Gebäude getroffen werden kann. Hier könnte mittels Sichtbarkeitslinie ermittelt werden, ob die Messpunkte das Gebäude schneiden, also im Sichtfeld liegen oder nicht. "Eine Sichtlinie ist eine Linie zwischen zwei Punkten, die die

¹⁰⁴ <http://webhelp.esri.com/arcgisexplorer/1500/de/>

¹⁰⁵ <http://webhelp.esri.com/arcgisexplorer/1500/de/>

7. Perspektive

Teile der Oberfläche entlang der Linie zeigt, die vom Aussichtspunkt aus sichtbar oder verborgen sind."¹⁰⁶ Wenn man diese Definition auf die Untersuchung der Fachanwendung in der Grundwasserdatenbank bezieht, so würde die Sichtlinie zwischen mindestens zwei Messpunkten gezogen werden. Ob das Gebäude geschnitten wird, also im Sichtlinienbereich liegt, könnte somit berechnet und durch die typische rot (nicht sichtbar)-grüne (sichtbar) Sichtlinie visuell angezeigt werden. Das Prinzip des sichtbaren bzw. nicht sichtbaren Punktes, wenn das Gebäude also den Zielmesspunkt verdeckt, wäre also wie bei der Sichtbarkeitsanalyse mit dem Beobachter in einem Terrain. In diesem Fall werden Hindernisse im Sichtfeld des Betrachters von seinem Standpunkt bis zum Zielpunkt über die geomorphologischen Eigenschaften des Geländes analysiert. Für dieses spezielle Sichtbarkeitsanalyse-Werkzeug könnte ein eigenes Werkzeug erzeugt werden und über den ArcGIS Server als Geoverarbeitungs-Service für die Nutzer der Fachanwendung bereitgestellt werden. Diese Möglichkeit bietet die Grundlage für eine weitere Arbeit in diesem Rahmen und wurde daher nur als Ausblick erwähnt.

¹⁰⁶ <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//00q800000p2000000.htm>

8. SCHLUSSBETRACHTUNG

Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung von geeigneten Datentypen und -strukturen zur Darstellung von Geodaten in der dritten Dimension. Dabei waren eine Aufstellung möglicher Anwendungen zur Visualisierung von 3D-Daten und eine Web-basierte Bereitstellung dieser Daten für die Nutzer der Grundwasserdatenbank Baden-Württemberg notwendig. Über die testweise Umsetzung am Beispiel Kaiserstuhl konnten die vorerst recherchierten Fakten und Methoden geprüft und auf ihre machbare Anwendbarkeit hin untersucht werden. Dabei wurde zunächst das Raster als optimaler Datentyp zur Darstellung des Geländes ermittelt. Weiterhin erwiesen sich Multipatches als adäquat für das beibehalten von 3D-Eigenschaften von Objekten, wie Gebäude oder einer Grundwasserebene aus Messpunkten der Grundwasserdatenbank. Diese Datentypen zeichnen sich durch ihre ideale Darstellung in 3D aus und werden daher als Standarddatentypen angesehen und verwendet. Für eine gute Datenübertragung eignet sich das Datenformat KML, welches weit verbreitet ist und in beinahe jede Anwendung importiert bzw. exportiert und weiter verarbeitet werden kann. Diese universelle Unterstützung garantiert einen zukunftssträchtigen Einsatz. Ebenso zeichnet sich das PDF als geeignetes Format zum Datenaustausch aus. Als weltweit anerkanntes Standardformat für eine unkomplizierte Umwandlung von Daten aller Art sowie einer einheitlichen Kommunikation der Nutzer untereinander, gewährleistet das PDF die Interoperabilität zwischen den Anwendungen. Auf Grundlage der Erkenntnisse über Datentypen und -formate konnten die ausgewählten 3D-Visualisierungsprogramme auf ihre Tauglichkeit und Verwendbarkeit für die Fachanwendung untersucht werden. Durch die pilothafte Umsetzung am Fachbeispiel Kaiserstuhl war es möglich die Machbarkeit von Datenimport und -darstellung zu testen. Im Laufe der Recherche und Bearbeitung an diesem Projekt konnten zwei plausible Varianten zur Darstellung der Inhalte in 3D erarbeitet werden. Mit der Verwendung des Adobe Readers kann ein aus der FME-Schnittstelle erstelltes 3D-PDF der gesamten Szene mit Gelände, Gebäude und Grundwasserebene als Bestandteile generiert werden. Weiterhin ist es mit der Variante des Globe-Services möglich die gewünschten Daten über den ArcGIS Server in den ArcGIS Explorer zu importieren und weitere Geoverarbeitungswerkzeuge zu erzeugen, um Berechnungen und Analysen durchführen zu können.

Schlussendlich ist zu sagen, dass mit den Varianten 3D-PDF und Globe-Service zwei geeignete Möglichkeiten für die 3D-Visualisierung der Fachdaten der Grundwasserdatenbank Baden-Württemberg und weiterer Inhalte gefunden werden konnten. Sowohl die Präsentation im 3D-PDF als auch die Darstellung über den Globe-Service im ArcGIS Explorer bieten ausgezeichnete Möglichkeiten, um dem Anwender die Szene visuell darzubieten und sie verständlicher zu machen. Zudem können über diese Varianten

8. Schlussbetrachtung

kostengünstige und benutzerfreundliche Anwendungen verwendet werden, welche mit bereits standardisierten Formaten arbeiten. Weiterhin ist durch die perspektivischen Möglichkeiten eine zusätzliche Grundlage zur Weiterführung dieser Arbeit geliefert und bietet darüber hinaus Diskussionsmaterial für die Integration ergänzender Analysemöglichkeiten.

LITERATURVERZEICHNIS

Adobe. (2011). *Adobe - Adobe Reader herunterladen*. Abgerufen am 23. Mai 2011 von <http://get.adobe.com/de/reader/>

Adobe. (2011). *PDF Reader, Sicherheitsmodus - Adobe Reader X*. Abgerufen am 23. Mai 2011 von <http://www.adobe.com/de/products/reader.html>

Adobe Systems Incorporated. (2011). *3D-Konstruktionen, 3D in Adobe PDF - Adobe-Lösungen für die Fertigung*. Abgerufen am 06. Juni 2011 von http://www.adobe.com/de/manufacturing/solutions/3d_solutions/index.html

alastaira. (11. April 2011). *An Unlikely Replacement for the Bing Maps 3D Control*. Abgerufen am 27. April 2011 von <http://alastaira.wordpress.com/2011/04/11/an-unlikely-replacement-for-the-bing-maps-3d-control/>

Bartelme, N. (2005). *Geoinformatik - Modelle, Strukturen, Funktionen* (4., vollständig überarbeitete Auflage Ausg.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Bill, R. (2010). *Grundlagen der Geo-Informationssysteme* (5., völlig neu bearbeitete Auflage Ausg.). Berlin: Herbert Wichmann-Verlag.

Bing Maps is dropping their 3D version - Google Earth Blog. (5. März 2010). Abgerufen am 27. April 2011 von http://www.gearthblog.com/blog/archives/2010/11/bing_maps_is_dropping_their_3d_vers.html

Bollmann, J., & Koch, W. G. (Hrsg.). (2001). *Lexikon der Kartographie und Geomatik - in zwei Bänden* (Bd. A bis Karti). Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.

Bollmann, J., & Koch, W. G. (Hrsg.). (2002). *Lexikon der Kartographie und Geomatik - in zwei Bänden* (Bd. Karto bis Z). Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.

Brutzman, D., & Daly, L. (2007). *X3D: Extensible 3D Graphics for Web Authors*. San Francisco: Morgan Kaufmann Verlag.

Coors, V., & Zipf, A. (2005). *3D-Geoinformationssysteme - Grundlagen und Anwendungen*. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag.

CPA Systems GmbH. (2011). *3D-Visualisierung mit WebGL. Perspektiven - Das Informationsmagazin der CPA GmbH*, S. 1-4.

Däßler, R., & Palm, H. (1998). *Virtuelle Informationsräume mit VRML - Informationen recherchieren und präsentieren in 3D*. Heidelberg: dpunkt.verlag.

Debacher, U. (2006). *VRML*. Abgerufen am 12. Mai 2011 von <http://www.debacher.de/vrml/vrml-2006.pdf>

Geoinformatik GmbH. (2005). *ArcGIS 9 - Das Buch für Einsteiger*. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag.

GIScience - Department of Geography, University of Heidelberg. (17. Mai 2010). *W3DS Wiki*. Abgerufen am 10. April 2011 von <http://www.w3ds.org/doku.php>

- Görmezer. (15. April 2009). *MG - §D-PDF kostenlos mit Open Source*. Abgerufen am 06. Juni 2011 von <http://www.goermezer.de/content/view/486/616/>
- Hauenstein, T. (2010). Fächerstadt virtuell. *Kommune 21* (1), 48ff.
- Ing-Büro h. Feddersen. (2010). *3D-PDF, Technische Dokumentation*. Abgerufen am 06. Juni 2011 von <http://www.3d-pdf.eu/>
- Jobst, M. (August 2009). Ein Modell zur kartographischen Veredelung der 3d-Präsentation. (D. G. e.V., Hrsg.) *Kartographische Nachrichten - Fachzeitschrift für Geoinformation und Visualisierung* (4), S. 181.
- Kern, H. F., & von Nauthusius, V. (August 2010). Dynamische, interaktive Thematische Kartographie in Webmapping-Applikationen. (D. G. e.V., Hrsg.) *Kartographische Nachrichten - Fachzeitschrift für Geoinformation und Visualisierung* (4), S. 195-196.
- Kolbe, T. H. (28. Mai 2007). *CityGML Homepage*. Abgerufen am 24. März 2011 von <http://www.citygml.org/index.php?id=1523>
- Kulawik, R., Schilling, A., & Zipf, A. (2009). *Landesweite 3D-Stadtmodelle im Internet auf Basis offener Standards des Open Geospatial Consortium (OGC) - das beispiel Nordrhein-Westfalen 3D*. Real Corp 2009 Tagungsband.
- Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg. (2011). *Über die LUBW*. Abgerufen am 15. April 2011 von <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/31656/>
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz. (kein Datum). *Über das UIS BW*. Abgerufen am 28. März 2011 von <http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/58046/>
- Mohl, H.-U., & Hollenbach, S. (kein Datum). Landeshauptstadt Stuttgart - 3D-City in GML. (Stadtmessungsamt, Hrsg.) Landeshauptstadt Stuttgart.
- NASA . (13. September 2004). *NASA World Wind*. Abgerufen am 11. Juni 2011 von <http://worldwind.arc.nasa.gov/features.html>
- Pomaska, G. (2007). *Web-Visualisierung mit Open Source - Vom CAD-Modell zur Real-Time-Animation*. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag.
- Quandt, U., & Kolbe, T. H. (2005). *Web 3D Service*. Open Geospatial Consortium Inc.
- Schuhmann, D. (2010). *Handbuch WIBAS-Fachinformationssystem "Grundwasserdatenbank"* (2. Ausg.). (LUBW, Hrsg.)
- Schweikart, J., Pieper, J., & Schulte, B. (Juni 2009). Virtuelle Globen: Entwicklungsgeschichte und Perspektiven. (D. G. e.V., Hrsg.) *Kartographische Nachrichten - Fachzeitschrift für Geoinformation und Visualisierung* (3), S. 129 ff.
- Shi, W. (April 2010). Konzept und Implementierung eines Selbst-Adaptiven Geo-Webdiensts. (D. G. e.V., Hrsg.) *Kartographische Nachrichten - Fachzeitschrift für Geoinformation und Visualisierung* (2), S. 69 ff.
- wiki.openstreetmap.org. (2011). Open Street Map 3D Globe. *GIS.Business - Das Magazin für Geoinformation* , S. 17.

World Wind Central. (1. Mai 2011). *World Wind Wiki*. Abgerufen am 21. Juni 2011 von http://worldwindcentral.com/wiki/What%27s_new_in_1.4

www.geobranchen.de. (2010). *OGC veröffentlicht Kandidaten für neue 3D-Standards: W3DS, WVS und 3D Symbology Encoding*.

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Gegenüberstellung der 3D-Datentypen.....	22
Tabelle 2: Gegenüberstellung 3D-Datenformate.....	33
Tabelle 3: Gegenüberstellung ArcScene und ArcGlobe.....	44
Tabelle 4: Gegenüberstellung der Anwendungen zur 3D-Visualisierung.....	55

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: 3D-Ansicht in GeoPro3D	4
Abbildung 2: Polygon-Z-Erstellung in ArcMap.....	10
Abbildung 3: Hausklötze mit Höhenwerten in ArcScene	11
Abbildung 4: Raster	14
Abbildung 5: TIN aus Raster	16
Abbildung 6: TIN aus Terrain	17
Abbildung 7: Kacheln auf TIN aus Grid generiert.....	19
Abbildung 8: Terrain	20
Abbildung 9: Fehlerhafte Multipatch-Darstellung in ArcGIS Explorer.....	25
Abbildung 10: Fehlerhafte KML-/ Collada-Objektdarstellung in ArcGIS Explorer	36
Abbildung 11: KML in Google Earth	37
Abbildung 12: Collada in Google Earth	38
Abbildung 13: Google Earth 3D-Ansicht vom Karlsruher Schloss.....	41
Abbildung 14: Navigationsleiste im alten Bing Maps 3D	42
Abbildung 15: XNavigator 3D-Ansicht auf Karlsruhe.....	46
Abbildung 16: NASA World Wind Globus-Ansicht.....	47
Abbildung 17: Ansicht des Mars in NASA World Wind.....	48
Abbildung 18: Baumverzeichnis der existierenden Modelle im CityViewer	49
Abbildung 19: Graphische Darstellung der Stadtmodelle in Nordrhein-Westfalen.....	50
Abbildung 20: CityViewer 3D-Ansicht von Düsseldorf.....	51
Abbildung 21: Adobe Acrobat Pro - 3D-Messwerkzeug	52
Abbildung 22: Adobe Acrobat Pro - 3D-Kommentar	53
Abbildung 23: Datenaustausch Grundwasserdatenbank	60
Abbildung 24: Workflow-Grundlage.....	62
Abbildung 25: Datenimport in der FME-Workbench.....	66
Abbildung 26: Workflow für die 3D-PDF-Erstellung	67
Abbildung 27: 3D-PDF geöffnet im Adobe Reader	68
Abbildung 28: Workflow mit Variante 3D-PDF	69
Abbildung 29: Falsche Darstellung der TK10	70
Abbildung 30: Richtige Darstellung der TK10	70
Abbildung 31: Erster Versuch der 3D-PDF-Erstellung nach Beispiel aus FME-Pedia	71
Abbildung 32: Workflow nach Beispiel von FME-Pedia	72
Abbildung 33: Fehler bei der TIN-Generierung	73
Abbildung 34: Exakte TIN-Generierung	74
Abbildung 35: 3D-Geländeoberfläche in Adobe Reader	75
Abbildung 36: Fehlerhafte Darstellung des Gebäudeklotzes	76

Abbildung 37: Drahtmodell zeigt Vollständigkeit des Gebäudeklotzes	77
Abbildung 38: Globe-Service-Layer in ArcGIS Explorer.....	81
Abbildung 39: Workflow mit Variante Globe-Service.....	82
Abbildung 40: Fehlerhafte Darstellung des SketchUp-Hauses (weiß)	84
Abbildung 41: Verzerrter Globe-Service-Gelände-Layer.....	85
Abbildung 42: Layerverwaltung von ArcGIS Explorer	86
Abbildung 43: Weggezoomte Ansicht von Globe-Service-Gelände-Layer	87
Abbildung 44: Analysefunktion Pufferung im ArcGIS Explorer.....	92
Abbildung 45: Analysefunktion Routing im ArcGIS Explorer.....	92
Abbildung 46: ArcGIS-Werkzeuge in ArcGIS Explorer.....	93
Abbildung 47: Gesamter Workflow.....	A

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AI	.....	<i>Adobe Illustrator</i>
ALK	.....	<i>Automatisierte Liegenschaftskarte</i>
ASCII	.....	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
BMP	.....	<i>Windows Bitmap Format</i>
CAD	.....	<i>computer-aided design</i>
Collada	.....	<i>Collaborative Design Activity</i>
CSV	.....	<i>Comma-Separated Values</i>
DCC	.....	<i>Digital Content Creation</i>
DGM	.....	<i>Digitales Geländemodell</i>
DHM	.....	<i>Digitales Höhenmodell</i>
DOM	.....	<i>Digitales Oberflächenmodell</i>
DSM	.....	<i>Digitales Situationsmodell</i>
EMF	.....	<i>Enhanced Metafile Format</i>
EPS	.....	<i>Encapsulated Postscript</i>
ESRI	.....	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
FME	.....	<i>Feature Manipulation Engine</i>
GDB	.....	<i>Geodatabase</i>
GIF	.....	<i>Graphics Interchange Format</i>
GIS	.....	<i>Geoinformationssystem</i>
GML	.....	<i>Geographic Markup Language</i>
GPS	.....	<i>Global Positioning System</i>
GPX	.....	<i>GPS Exchange Format</i>
GWDB	.....	<i>Grundwasserdatenbank</i>
HTML	.....	<i>Hyper Text Markup Language</i>
ISO	.....	<i>International Organization for Standardization</i>
JPG	.....	<i>Joint Photographic Experts Group Format</i>
KML	.....	<i>Keyhole Markup Language</i>
LGL	.....	<i>Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg</i>
LIDAR	.....	<i>Light Detection And Ranging</i>
LoD	.....	<i>Level of Detail</i>
LUBW	.....	<i>Landesanstalt für Umweltschutz, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg</i>
MPEG	.....	<i>Moving Picture Experts Group</i>
NatS	.....	<i>Naturschutz-Informationssystem</i>
NASA	.....	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
OGC	.....	<i>Open Geospatial Consortium</i>
OSM	.....	<i>Open Street Map</i>

PC	<i>Personal Computer</i>
PDA.....	<i>Personal Digital Assistant</i>
PDF	<i>Portable Document Format</i>
PNG.....	<i>Portable Network Graphics</i>
RIPS	<i>Räumliches Informations- und Planungssystem</i>
RSS	<i>Really Simple Syndication</i>
SONAR.....	<i>Sound Navigation and Ranging</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SVG.....	<i>Scalable Vector Graphics</i>
TIFF.....	<i>Tagged Image File Format</i>
TIN.....	<i>Triangulated Irregular Network</i>
TK.....	<i>Topographische Karte</i>
UFIS	<i>Umweltführungsinformationssystem</i>
UIS BW.....	<i>Umweltinformationssystem Baden-Württemberg</i>
URL	<i>Uniform Ressource Locator</i>
VR	<i>Virtual Reality</i>
VRML	<i>Virtual Modelling Language</i>
W3DS	<i>Web 3D Service</i>
WCS	<i>Web Coverage Service</i>
WFS	<i>Web Feature Service</i>
WGS84.....	<i>World Geodetic System 1984</i>
WIBAS.....	<i>Informationssystem Wasser, Immissionsschutz, Boden, Abfall, Arbeitsschutz</i>
WMS.....	<i>Web Map Service</i>
WoW.....	<i>Window-on-World</i>
WPS	<i>Web Processing Service</i>
WTS	<i>Web Terrain Service</i>
X3D	<i>Extensible 3D</i>
XML.....	<i>Extensible Markup Language</i>

ANHANG

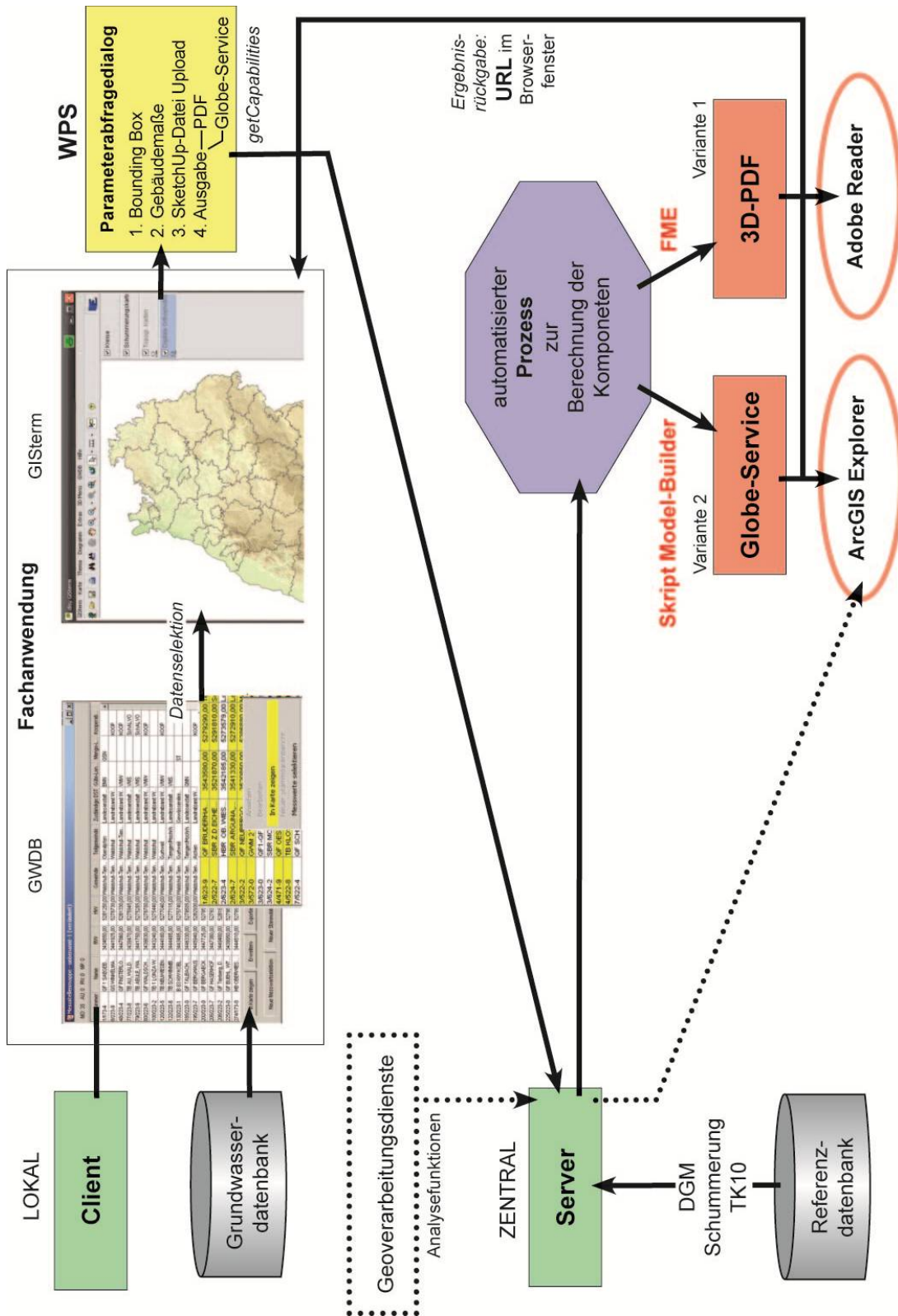


Abbildung 47: Gesamter Workflow