



universität
wien

MASTERARBEIT

Titel der Masterarbeit

„Analysemöglichkeiten im 3D GIS Bereich“

Verfasser

Bernd Loigge, BSc

angestrebter akademischer Grad

Master of Science (MSc)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:	A 066,855
Studienrichtung lt. Studienblatt:	Masterstudium Geographie
Betreuer:	Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle zunächst bei meinem Betreuer Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl sehr herzlich für seine Unterstützung und eingebrachten Ideen bei der Betreuung meiner Masterarbeit bedanken. Auch möchte ich mich beim Magistrat 41, der Stadtvermessung Wien und der Abteilung für Hydrologie und Geoinformation, der Niederösterreichischen Landesregierung bedanken, welche mir die in dieser Arbeit verwendeten Rohdaten kostengünstig zur Verfügung gestellt haben. Zudem möchte ich mich bei Ao.Univ.-Prof. Dr. Christine Embleton-Hamann bedanken, für die ich in den letzten Jahren als persönlicher Assistent arbeiten konnte.

Meinen Studienkollegen, welche mich während meines gesamten Studiums und auf den vielen Exkursionen begleitet haben, möchte ich hiermit ebenfalls meinen Dank ausdrücken und mich für eine unvergessliche Zeit mit euch bedanken. Insbesondere bei Raphael, mit dem ich unzählige Lehrveranstaltungen besucht habe und in deren Rahmen wir dann meist recht brauchbare Endprojekte verfasst haben. Ein großes Dankeschön auch an meine Freundin Iris, die mich während des Schreibens dieser Arbeit aushalten musste und mir immer wieder neue Motivation gegeben hat. Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinen Eltern für deren Unterstützung, Geduld und Ansporn bedanken. Ohne euch wäre mein Studium so nie möglich gewesen.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	ii
Inhaltsverzeichnis.....	iii
Abkürzungsverzeichnis.....	vi
Abbildungsverzeichnis.....	viii
Tabellenverzeichnis.....	xi
Abstract	xiii
Vorwort	xiv
1. Einleitung.....	1
1.1. Einführung in das Thema	1
1.2. Zielsetzung	2
2. Grundlagen der Geoinformation und 3D Geoinformation	5
2.1. Geoinformation	5
2.2. GIS Software Konzepte und Softwarekategorien	8
2.3. 3D Geoinformation	10
2.3.1. Anforderungen an ein 3D GIS.....	10
2.3.2. Schwierigkeiten bei der 3D GIS Umsetzung	11
2.3.3. Anwendungsbereiche von 3D GIS	12
2.3.3.1. 3D GIS Stadtmodelle	12
2.3.3.2. 3D GIS Modelle in der Geologie und Geomorphologie	17
2.3.3.3. Augmented Reality.....	20
2.3.3.4. 3D GIS Modelle in der Meteorologie und Geodynamik	22
2.3.3.5. 3D GIS Modelle in der Raumplanung.....	25
2.3.3.6. 3D GIS Modelle in der Luftfahrt.....	27
2.3.4. Kommerzielle und OpenSource 3D GIS - Software	28
2.3.5. Geschichte der 3D GIS Entwicklung	30
3. 3D Datenerfassung.....	31
3.1. Digitale Photogrammetrie	32
3.2. Terrestrisches Laserscanning (TLS).....	35
3.3. Airborne Laserscanning (ALS – LiDAR).....	38
4. Datenformate und Modelle in der 3D GIS Welt.....	43
4.1. Standards für 3D Geodaten	43

4.2.	Digitale Oberflächenmodelle.....	47
4.3.	3D Datenformate.....	49
4.3.1.	TIN	49
4.3.2.	GRID.....	52
4.3.3.	LiDAR Datenformate.....	53
4.3.4.	3D Shapefiles (Multipatch).....	56
4.3.5.	Terrain	57
4.3.6.	DXF.....	58
4.3.7.	Weitere 3D Datenformate (3DS, Sketchup, KML).....	59
5.	Praktische Modellerstellung anhand der Beispiele „UNO-City“ (Wien) und „Raabs an der Thaya“ (Niederösterreich).....	61
5.1.	Gebietsbeschreibung der Untersuchungsgebiete.....	61
5.1.1.	Untersuchungsgebiet „UNO-City“	62
5.1.2.	Untersuchungsgebiet „Raabs an der Thaya“	65
5.2.	Workflow der Modellerstellung	66
5.2.1.	Erstellen und Laden der Datengrundlage.....	67
5.2.1.1.	Terrain / DSM & DTM	68
5.2.1.2.	2D Gebäudegrundrisse / 2D building footprints.....	70
5.2.1.3.	2D Vegetationsdaten / 2D vegetation features.....	72
5.2.2.	Berechnung der Gebäudehöhen	74
5.2.3.	Umwandlung von 2D Linien in 3D Linien	75
5.2.4.	Umwandlung von 2D Punkte in 3D Punkte	76
5.2.5.	Umwandlung von 2D Polygone in 3D Polygone.....	77
5.2.6.	"Einbrennen" der Polygone in das DTM.....	79
5.2.7.	Importieren von 3D Dateien und Fertigstellung	80
6.	Praktische Anwendungen von 3D GIS Analysen	82
6.1.	Funktionen des ArcGIS 3D Analyst	83
6.2.	Die 3D Analyst Toolbar	86
6.2.1.	Konturlinien erstellen / Create Contour	87
6.2.2.	Interpolierte Linien & Profile / Interpolate Line & Graph.....	88
6.2.3.	Sichtlinie erstellen / Create Line of Sight	91
6.2.4.	Steilste Verbindung erstellen / Create Steepest Path.....	93

6.3.	Beurteilung der Funktionen der 3D Analyst Toolbar.....	95
6.4.	Die 3D Analyst Toolbox.....	96
6.4.1.	Sichtbarkeits- & Sichtfeldanalysen / Visibility.....	96
6.4.2.	Anwendungsbeispiele	104
6.5.	Beurteilung der Funktionen der 3D Analyst Toolbox.....	121
7.	Zusammenfassung.....	123
	Literaturverzeichnis.....	xv
	Anhang	xxii
	Lebenslauf	xxiv
	Eidesstattliche Erklärung.....	xxvi

Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
2.5D	zweieinhalbdimensional
3D	dreidimensional
3DS	3D Studio Format
ALS	Airborne Laser Scanning
AR	Augmented Reality
ARS	Augmented Reality System
AM	Atmosphärenmodell
AOI	Area of Interest
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CAD	Computer Aided Design
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DBM	Digital Building Model
DHM	Digitales Höhenmodell
DSM	Digital Surface Model (englisch)
DSM	Digitales Situationsmodell (deutsch)
DTM	Digital Terrain Model
DGM	Digitales Geländemodell
DXF	Drawing Interchange Format
GDB	Geodatabase
GIS	Geographisches Informationssystem
GPS	Global Positioning System
IfSAR	Interferometrisches SAR
IMU	Inertial Measuring Unit
ISO	International Organization for Standardization
KML	Keyhole Markup Language
LAS	Laser File Format Exchange
LiDAR	Light Detection and Ranging
LOD	Level of Detail
OGC	Open Geospatial Consortium
SKP	SketchUp Format

SHP	Shape File Format
TC 211	Technical Committee 211
TLS	Terrestrisches Laserscanning
TIN	Triangular Irregular Network
TXT	Text File Format
UG	Untersuchungsgebiet
UNO	United Nations Organization
VAT	Value Attribute Table
VR	Virtual Reality
VRML	Virtual Reality Modelling Language

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Unterschiedliche Informationsebenen in einem GIS (aus GEOGRAPHIC EARTH MAPPING & DESIGN (2013)).....	7
Abb. 2 Unterschiedliche Softwarekategorien von GIS (aus STEINIGER & WEIBEL (2009), S.3)	9
Abb. 3 Landnutzung im urbanen Raum der Stadt Enschede. Erste semi-perspektivische, dreidimensionale Abbildung eines urbanen Raums (aus MOORE (2002), S.259))	13
Abb. 4 Beispiel eines 3D Stadtmodelles (GOOGLE EARTH (2012) & eigene Bearbeitung (2013)).....	15
Abb. 5 Geologisches 3D Modell (aus GALSON SCIENCES LIMITED (2013))	19
Abb. 6 Darstellung eines Griechischen Tempels mittels der Software „Archeoguide“ als Beispiel für einer Augmented Reality Anwendung (aus HILBRING (2005), S.37)	21
Abb. 7 Hochwassergefahrenkarte in Kartenansicht (links) und in Kameraansicht als AR (rechts) (aus FUCHS-KITTOWSKI et al. (2012), S.22)	22
Abb. 8 GIS & AM - Kopplung über Dateischnittstellen (aus BERNARD (2005), S.343)	23
Abb. 9 GIS & AM - Erste Stufe der Interoperabilität (aus BERNARD (2005), S.343)	23
Abb. 10 GIS & AM – Zweite Stufe der Interoperabilität (aus BERNARD (2013), S.343).....	24
Abb. 11 3D Visualisierung aus Laserscandaten - ohne (links) und mit Windenergieanlagen (rechts) (aus INTERGRAPH (2012))	26
Abb. 12 Grundprinzip der Stereophotogrammetrie (aus ATTWENGER & BRIESE (2012))	33
Abb. 13 Der Weg von der Realität zum virtuellen Abbild (aus KERN (2007))	35
Abb. 14 Vereinfachtes Prinzip des Laserscannings (aus RIEDL, RIEDL, MITTERMAIER (2012)).....	35
Abb. 15 Hybrides terrestrisches Laserscanning-System (aus RIEDL, RIEDL, MITTERMAIER (2012)).....	37
Abb. 16 Komponenten einer Flugzeuggestützten ALS - Einheit (aus WEHR & DUZELOVIC (2009))	40
Abb. 17 First Respond mit Vegetation (a) - Last Respond ohne Vegetation (b) (aus SOERGEL et al. (2004), S. 305).....	40
Abb. 18 Kosten und Qualität von Höhendaten für verschiedene Erfassungsmethoden (aus MERCER (2001), S.232).....	41
Abb. 19 Unterschiedliche Fehlerquellen bei ALS Aufnahmen (links: Beeinflussung durch überhängende Vegetation; rechts: komplexe Gebäudestrukturen (aus CHEUK & YUAN (2009), S. 265).....	42
Abb. 20 UML – Klassendiagramm der Taxonomie und Struktur der Geometrie eines 3D Objektes (aus BOOCH et al. (1997))	44
Abb. 21 Beispiel einer polygonalen Oberfläche bestehend aus drei Patches (GM_Polygon) (aus GRÖGER & KOLBE (2005a), S.59)	45
Abb. 22 Beispiel eines Volumenkörper mit einer äußeren und inneren Schale (GM_Shell) (aus GRÖGER & KOLBE (2005a), S.59)	46
Abb. 23 Beispiel für einen volumenhaften Verbund der aus zwei Volumenkörper besteht (GM_CompositeSolid) (aus GRÖGER & KOLBE (2005a), S.62).....	46
Abb. 24 Schematische Darstellung der digitalen Oberflächenmodelle (aus OVER (2011) & eigene Bearbeitung (2013)).....	49
Abb. 25 TIN des Untersuchungsgebietes UNO-City (eigene Bearbeitung (2013)).....	51

Abb. 26 GRID des Untersuchungsgebietes Raabs an der Thaya (eigene Bearbeitung (2013))	52
Abb. 27 Aufbau des Multipatch Datenformates und Beispiele der Subtypen (aus ESRI (2008), S.2 ff.).	56
Abb. 28 Verortung der beiden UGs (eigene Bearbeitung (2013))	61
Abb. 29 Die unterschiedlichen Gebäudeteile des UNO-City Komplexes (aus PISARIK (2009), S.111)	62
Abb. 30 Ausdehnung des UG UNO-City (eigene Bearbeitung (2012))	64
Abb. 31 Ausdehnung des UG Raabs an der Thaya (eigene Bearbeitung (2012))	66
Abb. 32 Workflow zur Erstellung der 3D Modelle für die Untersuchungsgebiete (eigene Bearbeitung (2013))	67
Abb. 33 Workflow zur Erstellung der Terrains / DTM & DSM (eigene Bearbeitung (2013))	68
Abb. 34 DSM und DTM für das UG UNO-City (eigene Bearbeitung (2013))	69
Abb. 35 DSM und DTM für das UG Raabs an der Thaya (eigene Bearbeitung (2013))	69
Abb. 36 Workflow zur Extraktion der Gebäudegrundrisse (eigene Bearbeitung (2013))	71
Abb. 37 Extraktion der Gebäudegrundrisse / building footprints am Beispiel UNO-City mit Zwischenschritten (eigene Bearbeitung (2013))	72
Abb. 38 Workflow zur Extraktion der Vegetation - Bäume / Waldflächen (eigene Bearbeitung (2013))	73
Abb. 39 Extraktion der Vegetation am Beispiel Raabs an der Thaya mit Zwischenschritten (eigene Bearbeitung (2013))	73
Abb. 40 Berechnung der Gebäudehöhen (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))	74
Abb. 41 Berechnung der 3D Straßenfeatures (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))	76
Abb. 42 Berechnung der 3D Punktfeatures (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))	76
Abb. 43 Berechnung der 3D Polygonfeatures und der 3D Buffer - Linien (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))	77
Abb. 44 „Einbrennen“ der 3D Polygonfeatures und der 3D Buffer - Linien in das DTM (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))	79
Abb. 45 3D Modell des UG UNO-City (eigene Bearbeitung (2013))	81
Abb. 46 3D Modell des UG Raabs (eigene Bearbeitung (2013))	81
Abb. 47 Das Interfaces von ArcGlobe 10.1 (eigene Bearbeitung (2013))	83
Abb. 48 Das Interfaces von ArcScene 10.1 (eigene Bearbeitung (2013))	84
Abb. 49 Interaktive Toolbar des 3D Analyst (eigene Bearbeitung (2013))	84
Abb. 50 Darstellung der Konturlinie (eigene Bearbeitung (2013))	87
Abb. 51 Berechnete Konturlinie der Dachfront des Hauptgebäudes der UNO-City (eigene Bearbeitung (2013))	88
Abb. 52 Profillinien im UG Raabs an der Thaya – Excel-Export der Daten (eigene Bearbeitung (2013))	90
Abb. 53 Profillinien im UG Raabs an der Thaya – Editiert mit dem interaktiven Tool „Profile Graph“ der 3D Analyst Toolbar (eigene Bearbeitung (2013))	90
Abb. 54 Darstellung der Profillinien (eigene Bearbeitung (2013))	91
Abb. 55 Line of Sight Graph - Observerhöhe von 2 Meter (eigene Bearbeitung (2013))	92

Abb. 56 Line of Sight Graph - Observerhöhe von 100 Meter (eigene Bearbeitung (2013))	92
Abb. 57 Line of Sight (Observerhöhe: links 2 Meter, rechts 100 Meter; roter Bereich: nicht einsehbar – grüner Bereich: einsehbar) (eigene Bearbeitung (2013))	93
Abb. 58 Steepest Path im ausgewiesenen Bereich (eigene Bearbeitung (2013))	94
Abb. 59 Steepest Path Graph im ausgewiesenen Bereich (eigene Bearbeitung (2013)).....	94
Abb. 60 Sichtbare und nicht sichtbare Bereich von der Spitze eines Hochhauses (aus MAGISTRAT DER STADT WIEN (2013))	97
Abb. 61 Bestimmung der relativen Position eines Punktes (aus WEIBEL (2012) & eigene Bearbeitung (2013))	100
Abb. 62 Beispiel für einen Sichtkegel - Sichtkegel 1 zwischen 0° und 45°, Sichtkegel 2 zwischen 45° und 135° (aus RIEDL, RIEDL, GATTRINGER (2010)).....	101
Abb. 63 Schematische Darstellung eines Frustum beim Frustum Culling (aus Noss (2012))	103
Abb. 64 Berechnung der Sichtbarkeit (eigene Bearbeitung (2013)).....	105
Abb. 65 Sichtbarkeitsanalyse (grüner Bereich: sichtbar – roter Bereich: nicht sichtbar) (eigene Bearbeitung (2013))	106
Abb. 66 Unterschiedliche Gefahrenbereiche in den beiden Reichweitenabschnitten der Flakgeschütze (rot: 250 Meter Radius; blau: 500 Meter Radius) (eigene Bearbeitung (2013))	108
Abb. 67 Berechnung der Reichweiten der Flakgeschütze und der Gefahrenbereiche für das Flugzeug (eigene Bearbeitung (2013))	108
Abb. 68 Verteilung und Längenangaben der Gefahrenbereiche im Untersuchungsgebiet (eigene Bearbeitung (2013))	109
Abb. 69 Teilergebnisse bei der Berechnung des Einflusses des Terrains bzw. der Gebäude auf die Gefahrenbereiche (eigene Bearbeitung (2013))	110
Abb. 70 Berechnung des Einflusses des Terrains bzw. der Gebäude auf die Gefahrenbereiche der Flugroute (eigene Bearbeitung (2013))	110
Abb. 71 Unterschiedliche Gefahrenbereiche unter Berücksichtigung einer Verschiebung der Flugroute innerhalb eines Flugkorridors und der Sichtfeldeinschränkung (eigene Bearbeitung (2013))	111
Abb. 72 Erhöhung des Hochhauses um 14 Meter (eigene Bearbeitung (2013)).....	114
Abb. 73 Volumen zwischen der Oberfläche und dem untersten Geschoss der geplanten Tiefgarage (eigene Bearbeitung (2013))	114
Abb. 74 Schnellsten Route (nach Distanz) die eine Person innerhalb der Tiefgarage benötigen würde um zu einem Feuerlöscher zu gelangen (eigene Bearbeitung (2013))	115
Abb. 75 Berechnung des Netzwerkes (eigene Bearbeitung (2013)).....	115
Abb. 76 Teilergebnisse bei der Berechnung der Gunstflächen (eigene Bearbeitung (2013))	117
Abb. 77 Berechnung der Gunstflächen (eigene Bearbeitung (2013)).....	118
Abb. 78 Darstellung der Windräder (eigene Bearbeitung (2013)).....	118
Abb. 79 Einsehbare und nicht einsehbare Bereiche ausgewählter Windränder im UG (eigene Bearbeitung (2013))	119
Abb. 80 Schattenbildung der Gebäude zu drei ausgewählten Zeitpunkten (08:10, 12:10, 16:20) am 13.02.2013 im UG Raabs an der Thaya (eigene Bearbeitung (2013))	120

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Unterschiedliche Dimensionen in der Geoinformation (aus BILL (2010), S. 12).....	7
Tab. 2 Unterschiedliche Funktionalitäten der einzelnen Softwarekategorien (aus STEINIGER & WEIBEL (2009), S.3)	9
Tab. 3 Anforderungen an 2D / 3D GIS (aus ABDUHL-RAHMAN, ZLATANOVA, PILOUK (2001), S.2) ...	10
Tab. 4 Schwierigkeiten bzw. Grundbedingungen und Tools zur adäquaten Umsetzung eines 3D GIS (aus ABDUL-RAHMAN, ZLATANOVA, PILOUK (2001), S.3)	11
Tab. 5 Unterschiedliche 3D Stadtmodellebenen abhängig vom Detaillierungsgrad (aus KLAUS (1997))	15
Tab. 6 Klassifikation von 3D Stadtmodellen nach LOD Ebenen (aus STÄDTETAG NORDRHEIN-WESTFALEN (2004), S.75 f.)	16
Tab. 7 Wichtigste Geodatentypen in der Aviatik (aus NEBIKER (2005), S. 322).....	27
Tab. 8 Optische Effekte zur Maximierung der Realitätstreue (aus NEBIKER (2005), S. 325)	28
Tab. 9 Praktische Anwendungsfelder von 3D Geoinformation der Luftfahrt (aus NEBIKER (2005), S.328 ff.)	28
Tab. 10 Überblick über Möglichkeiten der 3D Analyse und Modellierung unterschiedlicher Softwaresolutions (aus SCHULZE (2008) & eigene Bearbeitung (2013)).....	29
Tab. 11 Unterschiedliche Entwicklungsansätze von 3D Software (aus ABDUL-RAHMAN, ZLATANOVA, PILOUK (2001), S. 5, PEUCKER et al. (1976) & eigene Bearbeitung (2013))	30
Tab. 12 Unterschiedliche Erfassungsarten von 3D Geodaten (aus GÜLCH (2005), S. 5 & eigene Bearbeitung).....	31
Tab. 13 Vor- und Nachteile der Photogrammetrie (aus RINNER (1972)).....	33
Tab. 14 Besonderheiten des terrestrischen Laserscannings (aus KERN (2007))	36
Tab. 15 Grenzen des terrestrischen Laserscannings (aus KERN (2007))	37
Tab. 16 Unterschiedliche Verfahren der Entfernungsmessung (aus KERN (2007))	37
Tab. 17 Komponenten einer ALS Einheit (aus AUBRECHT, CHLAUPEK, STEINOCHE (2009))	39
Tab. 18 Geometrische Eigenschaften von Features (aus GRÖGER & KOLBE (2005a), S.59 f. & eigene Bearbeitung)	45
Tab. 19 Erläuterung der unterschiedlichen digitalen Oberflächenmodelle wie sie in dieser Arbeit Verwendung finden (eigene Bearbeitung (2013))	48
Tab. 20 Speicherung eines TIN (aus FREIWALD & JANY (2005), S. 155)	50
Tab. 21 Vor- und Nachteile des TIN Formats (aus FREIWALD & JANY (2005), S. 156).....	51
Tab. 22 Vor- und Nachteile des GRID Formats (aus ABDUL-RAHMAN & PILOUK (2008), S. 27)	52
Tab. 23 Vergleich zwischen LAS-Dataset, Mosaik-Dataset und Terrain-Dataset (aus ESRI (2013b))	54
Tab. 24 Feature Klassen, welche als Datengrundlage für Terrain Datesets fungieren können (aus ESRI (2013c)).....	57
Tab. 25 Bestandteile einer DXF-Datei (aus FREIWALD & JANY (2005), S. 153 f.).....	59
Tab. 26 Organisationen der Vereinten Nationen in Vienna International Center (aus UNITED NATIONS INFORMATION SERVICE (2010))	63

Tab. 27 Informationen über die verwendeten Rohdaten im UG UNO-City (eigene Bearbeitung (2012))	64
Tab. 28 Informationen über die verwendeten Rohdaten im UG Raabs an der Thaya (eigene Bearbeitung (2012))	65
Tab. 29 Vorhandene und zu generierende Datengrundlage für die Modellierungen (eigene Bearbeitung (2013))	67
Tab. 30 Analyseschritte zur Berechnung der Gebäudehöhen (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2012))	75
Tab. 31 Analyseschritte zur Berechnung der 3D Straßenfeatures (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))	76
Tab. 32 Analyseschritte zur Berechnung der 3D Punktfeatures (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))	77
Tab. 33 Analyseschritte zur Berechnung 3D Polygonfeatures und der 3D Buffer - Linien (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013)).....	78
Tab. 34 Analyseschritte beim „Einbrennen“ der 3D Polygonfeatures und der 3D Buffer - Linien in das DTM (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))	79
Tab. 35 Erläuterungen der Funktionen der interaktiven Toolbar des 3D Analyst (aus ESRI (2013f)).	85
Tab. 36 Erläuterungen der Funktionen der Toolbox des 3D Analyst (aus ESRI (2013f)).....	86
Tab. 37 Auswirkungen der Form des Observerpoints bzw. des untersuchten Punktes auf die Anzahl der LOS (aus WEIBEL (2012))	98
Tab. 38 Unterschiedliche Berechnungsmöglichkeiten der Höhe entlang der LOS (aus WEIBEL (2012))	99
Tab. 39 Unterschiede zwischen konservativen und approximierten Verfahren bei der Berechnung der Sichtbarkeit (aus GRAF (2006), S. 7)	100
Tab. 40 Unterschiedliche Algorithmen zur Berechnung der Sichtbarkeit (aus GRAF (2006), S.9 ff.)	101
Tab. 41 Sichtbarkeitsanalysefunktionen des 3D Analyst (aus ESRI (2013e))	104
Tab. 42 Modelldurchläufe zur Extraktion der Bare Earth im UG UNO-City (eigene Bearbeitung (2013))	xxii
Tab. 43 Modelldurchläufe zur Extraktion der Gebäude im UG UNO-City (eigene Bearbeitung (2013))	xxiii
Tab. 44 Modelldurchläufe zur Extraktion der Vegetation im UG Raabs an der Thaya (eigene Bearbeitung (2013))	xxiii

Abstract

The main goal of this Master thesis is to provide an overview of the possibilities and the status quo of 3D Geoinformation Science and its area of application. Various digital elevation models are generated from raw data for two test areas. New 3D analysis tools are then tested on these models and their possibilities and limitations are described.

An evaluation of relevant literature offers different examples for the practical use of 3D GIS software and a general summary of the development is given. Furthermore a comparison of multiple 3D GIS products is made.

Since LiDAR raw data is used, different possibilities of data extraction are described and the most important data formats and standards in 3D GIS are introduced.

The extraction of the digital elevation models is then described step by step for the test areas in the empirical part of the study. Subsequently, practical applications of 3D analysis are presented by using Esri ArcGIS 3D Analyst. For a better understanding, these applications are introduced with the help of concrete examples. Afterwards the used tools are evaluated and limitations are mentioned.

Vorwort

Ziel dieser Masterarbeit ist es einen Überblick über die Möglichkeiten und den aktuellen Stand der 3D Geoinformation und deren Anwendungsgebiete zu geben. In diesem Rahmen sollen aus Rohdaten unterschiedliche Oberflächenmodelle für zwei Untersuchungsgebiete generiert werden. Anschließend werden verschiedene 3D Analysemöglichkeiten an diesen Modellen getestet und deren Möglichkeiten und Limitierungen beschrieben.

Im Literaturteil der Arbeit werden die Möglichkeiten und Einsatzfelder von 3D GIS Softwaresolutions beschrieben und ein allgemeiner Überblick über die Entwicklung, die Anforderungen und Schwierigkeiten bei der Umsetzung dieser wird gegeben. Zudem werden verschiedene 3D GIS Produkte miteinander verglichen.

Da es sich bei den verwendeten Ausgangsdaten um LiDAR Rohdaten handelt, werden unterschiedliche Möglichkeiten der Datengewinnung erläutert und die wichtigsten Datenformate und Standards in der 3D GIS Welt werden vorgestellt.

Im empirischen Teil wird die praktische Erstellung der Oberflächenmodelle für die beiden Untersuchungsgebiete Schritt für Schritt beschrieben. Anschließend werden Anwendungen von 3D GIS Analysen vorgestellt, welche mit Hilfe des ArcGIS 3D Analyst von Esri durchgeführt wurden. Für ein besseres Verständnis werden diese durch praktische Beispiele vorgestellt. Abschließend werden die Funktionen der Werkzeuge beurteilt und auf etwaige Limitierungen wird eingegangen.

1. Einleitung

„We live in a three dimensional (3D) world. Earth scientists and engineers have long sought graphic expressions of their understanding about 3D spatial aspects of reality in the form of sketches and drawings. 3D descriptions of reality in perspective view change with the viewing position, (...) , however they offer a very limited 3D impression. These traditional drawings and maps reduce the spatial description of 3D objects to 2D. Using computing technology (...) reality can be directly transferred into a 3D digital model by a process known as 3D modelling.“ (ABDUL-RAHMAN & PILOUK (2008), S. 3)

Wie man diesem Zitat entnehmen kann, ist die uns bekannte Welt keine zwei- sondern eine dreidimensionale und sollte, soweit möglich, bei bestimmten Fragestellungen auch als eine solche modelliert und analysiert werden. Aufgrund der sich rasant entwickelnden Informationstechnologie und der damit einhergehenden Entwicklung von immer leistungsfähigeren Hardwarekomponenten (sowohl die Visualisierung, Modellierung und Aufnahme dreidimensionaler Daten betreffend), ist es heute möglich diese dritte Dimension immer exakter darzustellen.

1.1. Einführung in das Thema

Die uns bekannte Welt wird schon seit Jahrhunderten versucht eindeutig darzustellen und ansprechend zu visualisieren. Die Kartographie und ihre Geschichte ist dabei seit Jahrhundert ein Teil einer jeden Kultur und wurde von allen uns bekannten Völkern und Kulturen in unterschiedlicher Weise genutzt. Besonders die der Differenzierung von Besitztümer wurden seit der Sesshaftwerdung der Menschen Karten als Medium zur Trennung genutzt. ARN & OEHRLI (2004) führen als Beispiel die Festlegung der Flure am Nil im alten Ägypten an, welche nach der alljährlichen Überflutung neu eingeteilt werden mussten.

„Als eine der ersten kartographischen Zeugnisse kann die aus Mesopotamien stammende Himmelsscheibe von Nebra gesehen werden, welche aus der Zeit zwischen 2340 und 2200 v. Chr. stammt. Auf dieser rund sieben mal sieben großen Tontafel wurden Berge, Flüsse und Städte des nördlichen Mesopotamien eingezeichnet. Fast alle uns bekannten Hochkulturen entwickelten Karten oder kartenverwandte Abbildungen, welche für die Menschen als Hilfestellung bei der Wahrnehmung, Planung und Orientierung dienten.“ (aus ARN & OEHRLI (2004), S.2)

Viele verschiedene Medien dienten dabei als Abbildungsfläche und reichen von Holzschnitten über Kupferstiche bis hin zur analogen Papierkarte. Über Jahrhunderte hinweg war die Abbildung der Erde dabei meist eine zweidimensionale Zentralprojektion, welche dreidimensionale Objekte um eine Dimension verringert darstellte.

Mit dem Aufkommen der ersten Rechenmaschinen und Computer Mitte des 20. Jahrhunderts, ergaben sich auch für die Kartographie neue Möglichkeiten zunächst der Visualisierung und später auch vermehrt der Analyse raumrelevanter Fragestellungen. Für diese von nun an auch als Geoinformation bezeichnete Wissenschaft, waren am Anfang besonders die zweidimensionalen Abbildungen von Interesse. Die kartographische Gesellschaft entdeckte jedoch rasch die Möglichkeit durch die Informationstechnologie nun auch dreidimensionale Daten zu verarbeiten und so werden seit dem Ende der 1980iger Jahre auch immer intensiver dreidimensionale Analysen und Visualisierungen betrieben. Im Vorwort der „Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (2008)“ schreiben die Herausgeber:

„Society is expecting and demanding more 3D support since users have experienced the added value in emerging visualisation applications such as 3D globe based interfaces, navigation systems presenting a 3D perspective, etc. Due to the rapid developments in sensor techniques more 3D data have become available.“

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass aufgrund der bestehenden Möglichkeiten in der Visualisierung und Aufnahme von dreidimensionalen Daten nun auch Analysen mit diesen Daten möglich sind, welche in unterschiedlichsten Arbeitsfeldern und Wissenschaften zur Generierung von Lösungsansätzen hilfreich, wenn nicht sogar zwingend notwendig, sind.

1.2. Zielsetzung

Zunächst soll ein umfassender Überblick über die Entwicklung der dreidimensionalen Geoinformationssysteme (3D GIS) gegeben werden. Dabei sollen die Entwicklung und Geschichte von 3D GIS Produkten betrachtet werden, der aktuelle Stand und die Möglichkeiten von kommerzieller und Open Source Software dargestellt und unterschiedliche Anwendungsbereiche von 3D GIS besprochen werden.

In einem ersten empirischen Teil sollen ein Digitales Gebäudemodell (Digital Building Model – DBM), ein Digitales Oberflächenmodell (Digital Surface Model – DSM) und ein Digitales Geländemodell (Digital Terrain Model – DTM) generiert werden. Als Testflächen werden die UNO-City in Wien, als Beispiel für einen urbanen Raum und ein Gebiet nahe der Stadt Raabs an der Thaya in Niederösterreich, als Beispiel für einen ländlich geprägten Raum, herangezogen. Zur Generierung dieser Modelle werden Light Detection and Ranging Daten (LiDAR) verwendet, welche dankenswerter Weise von der Universität Wien und vom Land Niederösterreich zur Verfügung gestellt wurden.

In einem nächsten Schritt werden nun unterschiedliche Möglichkeiten von 3D Analysen im GIS Bereich getestet. Dabei sollen diese Analysen vorgestellt und deren Umsetzungen und Ergebnisse bewertet werden. Die Analysen werden dabei in den vorher generierten Testflächen angewendet und anhand praktischer Beispiele demonstriert. Ein besonderes

Augenmerk liegt dabei auf der neuen Toolpalette des 3D Analyst des Softwareherstellers ESRI, welcher durch die Version 10.1 viele neue Möglichkeiten verspricht.

Im Speziellen sollen Analyse- bzw. Modellierungsmöglichkeiten im urbanen und ländlichen Raum betrachtet werden. 3D Analysetools die dabei näher untersucht werden sollen sind: Abfragen und Datenintegration (Messen, Importieren etc.), Distanzanalysen, Sichtbarkeitsanalysen, Erstellen von Terraindatasets, Hangneigungs- und Expositionsanalysen, sowie unterschiedlichste Kombinationen dieser.

Aus den angeführten Zielen dieser Arbeit ergeben sich daher folgende Forschungsfragen, welche innerhalb der Masterarbeit beantwortet werden sollen:

- I. Was sind 3D GIS Applikationen und Softwaresolutions heute im Stande zu leisten und welche Fragestellungen können mit diesen bearbeitet werden?**
- II. Welche Möglichkeiten der 3D Gebäude Modellerstellung aus LiDAR Daten gibt es und wie gut sind diese Ergebnisse für weitere Analysen geeignet?**
- III. Welche Möglichkeiten der 3D Gelände- und Oberflächenmodellerstellung aus LiDAR Daten gibt es und wie gut sind diese Ergebnisse für weitere Analysen geeignet?**
- IV. Welche speziellen Möglichkeiten der 3D Datenverarbeitung gibt es um Fragestellungen, welche einerseits im urbanen Raum und andererseits im ländlichen Raum auftreten, beantworten zu können?**

Der daraus resultierende, strukturierte Aufbau der Arbeit lässt sich folgendermaßen gliedern:

- Im ersten Kapitel wird ein grober Überblick über die Zielsetzungen und Fragestellungen gegeben. Es werden die Inhalte kurz angesprochen und die angewendete Empirik erklärt.
- In den Kapiteln zwei und drei wird auf die Grundlagen der Geoinformation und 3D Geoinformation eingegangen. Unterschiedliche Softwaresolutions werden erläutert und Anwendungsbereiche erklärt. Zudem wird die geschichtliche Entwicklung der 3D GIS Welt erklärt. Da es sich bei den in den empirischen Analysen verwendeten Daten um LiDAR Daten handelt, werden unterschiedliche Möglichkeiten der 3D Datenerfassung erklärt.
- Das Kapitel vier beschäftigt sich mit unterschiedlichen Datenformaten und Modellen in der 3D GIS Welt. Besonders auf jene Formate, welche im empirischen Teil der Arbeit eine wesentliche Anwendung finden, wird speziell eingegangen.

- Im Kapitel fünf wird die Generierung der einzelnen DBMs, DTMs und DSMs der Untersuchungsgebiete (UG) erklärt. Außerdem wird ein kurzer Überblick über die Situation der beiden Gebiete gegeben.
- Im Kapitel sechs werden mögliche 3D Analysen vorgestellt. Dabei werden der Hintergrund und die Funktionsweise der Analysen erklärt und anschließend anhand von praktischen Beispielen veranschaulicht.
- Kapitel sieben fasst die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick.

2. Grundlagen der Geoinformation und 3D Geoinformation

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit den Definitionen und Grundlagen der Geoinformation und 3D GIS, mit deren Anwendungsbereichen und der geschichtlichen Entwicklung. Es wird auf den Dimensions-Begriff innerhalb der Geoinformation eingegangen und unterschiedliche Softwaresolutions werden erläutert.

Vor allem die Anforderungen, Schwierigkeiten der Umsetzung und Anwendungen im 3D GIS Bereich werden erläutert.

2.1. Geoinformation

Unter Geoinformation wird prinzipiell die Erhebung, Speicherung und Verwaltung, Analyse sowie Präsentation von raumbezogenen Daten verstanden. Über viele Jahre hinweg wurden diese Prozesse durch analoge Datenquellen und die Produktion von analogen Karten bewerkstelligt. Durch moderne Computertechnologien ist die Geoinformation heute von der analogen zur digitalen Datenverarbeitung übergegangen. Die Software, die dabei verwendet wird, wird als Geoinformationssystem (GIS) bezeichnet (nach KAINZ (2004), S.11). Weitere Definitionen eines GIS die in der Literatur zu finden sind:

„Ein Informationssystem für die Erfassung, Verwaltung sowie anwendungsbezogene Verarbeitung und Präsentation von Geodaten (Daten mit Raumbezug).“ (HAKE, GRÜNREICH UND MENG (2002), S.552)

„Ein Geo-Informationssystem ist ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software und Daten besteht und mit dem sich raumbezogene Problemstellungen in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten modellieren und bearbeiten lassen. Die dafür benötigten raumbezogenen Daten können digital erfasst und redigiert, verwaltet und reorganisiert, analysiert sowie alphanumerisch und grafisch präsentiert werden. GIS bezeichnet sowohl eine Technologie, Produkte als auch Vorhaben zur Bereitstellung und Behandlung von Geoinformation.“ (BILL (2010), S.4)

Die Geoinformation gewinnt sowohl in der Privatwirtschaft als auch in öffentlichen Betrieben zunehmend an Bedeutung. Dabei kommen Anwender aus den unterschiedlichsten Bereichen (aus REITZ, THUM, KRÄMER (2010)):

- Umweltschutz, Stadtplanung, Verkehrsplanung
- Standortmarketing, Geomarketing
- Katastrophenvorsorge und Leitplanung, Versicherungen
- Energieversorgung, Entsorgung, Bergbauunternehmen, Hoch- und Tiefbau
- Architektur
- Forschung (Biologen, Geologen, Soziologen, ...)

- Tourismus
- Routenplanung
- Web-Mapping

Als verbindendes Element kann dabei der Raumbezug gesehen werden, welcher unterschiedlichste Thematiken in Bezug bringt. Damit ein GIS funktioniert, bedarf es prinzipiell drei unterschiedlicher Komponenten, welche verfügbar sein müssen: Hardware, Software und Daten. Sind diese Voraussetzungen gegeben, können anschließend unterschiedlichste Fragestellungen beantwortet werden. BILL (2010) führt mehrere Arbeitsfelder an, in welchen der Raumbezug unterschiedlich definiert wird. Beispielsweise wird dieser im Vermessungswesen entweder durch Vorschriften die Konstruktion betreffend definiert oder aber durch Koordinaten (sowohl 2D als auch 3D). Zudem wird hierbei immer ein Bezugssystem für die Lage und Position der ortsabhängigen Objekte beschrieben. Weitere Parameter den Raumbezug betreffend sind die Genauigkeit und die Unschärferelation. Hingegen wird der Begriff Raumbezug in anderen Bereichen (z.B.: Business Mapping) in gänzlich anderen Zusammenhängen verwendet (nach BILL (2010), S.8).

ABDUL-RAHMEN & PILOUK (2008) sehen den Einsatzbereich von einem GIS folgendermaßen:

“Geographical Information Systems (GISs) represent a powerful tool for capturing, storing, manipulating and analysing geographic data. This tool is being used by various geo-related professionals, such as surveyors, cartographers, photogrammetrists, civil engineers, physical planners (urban and rural), rural and urban developers, geologists, etc. They use the tool for analysing, interpreting and representing the real world and understanding the behaviour of the spatial phenomena under their respective jurisdictions.”

Die Geoinformation baut also Brücken zwischen anwendungsspezifischen Geoproblemen und Informationsmethoden. Man kann behaupten, dass ein GIS heute absolut unentbehrlich für ein effektives problemorientiertes Arbeiten mit raumbezogenen Daten ist. Somit erlaubt ein GIS einen interaktiven Zugriff auf das Datenmaterial, d.h. es lassen sich anhand eines Modells der realen Welt unterschiedliche Lösungsvarianten bei raumbezogenen Fragestellungen simulieren und dadurch eventuell auftretende Komplikationen, bzw. Auswirkungen im Vorhinein aufzeigen. Ein großer Vorteil der GIS-Technologie liegt in einer raschen und gut belegbaren Informationswiedergabe, die für die Unterstützung von fachspezifischen und politischen Entscheidungsträgern, Bürgern, usw. herangezogen werden kann (nach RIEDL, RIEDL, MITTERMAIER (2012), S.5).

Ein GIS kann dabei alle raumbezogenen Daten der Erdoberfläche, der Lithosphäre, Atmosphäre und Hydrosphäre, bis hin zu fachthematischen Sachverhalten wie beispielsweise der Wirtschafts- und Sozialgeographie umfassen (nach REITZ, THUM, KRÄMER (2010)). In Abb. 1 sind unterschiedliche Informationsebenen, welche alle durch ein GIS dargestellt werden können, abgebildet.

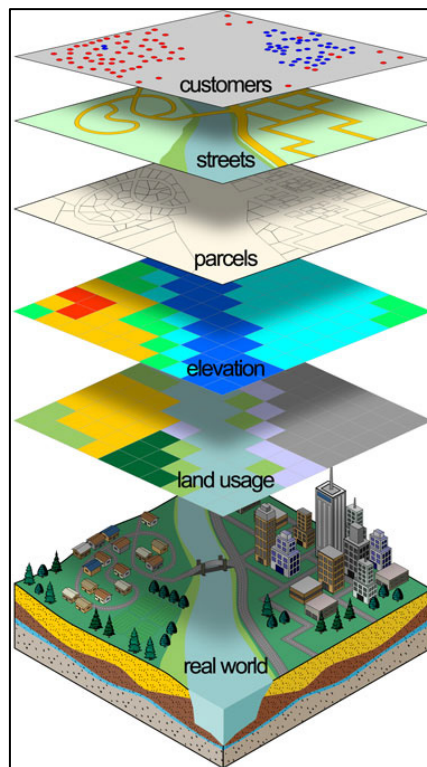


Abb. 1 Unterschiedliche Informationsebenen in einem GIS (aus GEOGRAPHIC EARTH MAPPING & DESIGN (2013))

Zu Beginn der Geoinformationsverarbeitung bzw. auch heute noch im größten Ausmaß, durch die oben genannten Endnutzer, wurden bzw. werden Fragestellungen zumeist durch zweidimensionale (2D) oder zweieinhalb-dimensionale (2.5D) GISe beantwortet. Anders ausgedrückt kann behauptet werden, dass es relativ schwierig ist, räumliche Information in mehr als zwei Dimensionen zu bearbeiten oder zu analysieren, da die Ergebnisse ab einer dritten Dimension zumeist ungenau oder zumindest unvollständig aufgrund ihrer Komplexität sind (nach ABDUHL-RAHMAN & PILOUK (2008), S.2).

Die Entwicklung im Bereich der Geoinformation verfolgt daher in den letzten Jahren immer öfter einen holistischen Ansatz. Zudem kann aufgrund der Entwicklung im Bereich der Hardware immer mehr Information verarbeitet werden. Aus diesem Grund befasst sich auch die Geoinformation immer öfter mit Fragen der dreidimensionalen (3D) Darstellung und in weiterer Folge mit Analyse diese betreffend.

BILL (2010) erklärt in diesem Zusammenhang die unterschiedlichen Dimensionen folgendermaßen (siehe Tab. 1).

Tab. 1 Unterschiedliche Dimensionen in der Geoinformation (aus BILL (2010), S. 12)

Zwei-dimensional (2D):	„(ein Geoinformationssystem ist zwei-dimensional) wenn sich seine Geometriedaten lediglich auf x und y – Koordinaten (Planimetrie) beziehen und keine Höhenangaben vorliegen.“
Zweieinhalb-dimensional (2.5D):	„(Ein Geoinformationssystem ist zweieinhalb-dimensional) wenn zur Lagegeometrie die Höhe z als Attribut gespeichert

	<i>ist. Diese Art der Höhenintegration wird auch als Sachdatenabsorption bezeichnet.“</i>
Drei-dimensional (3D):	<i>„(Ein Geoinformationssystem ist drei-dimensional), wenn die x, y und z – Koordinaten in hinreichender Dichte vollständig für das gesamte Teilgebiet abgespeichert sind.“</i>

Zusätzlich zu den oben genannten Parametern kann noch eine vierte Komponente, die Zeit (t), herangezogen werden, welche die Möglichkeit einer dynamischen Visualisierung bietet. Hierbei würde man von „Vierdimensionalität“ (4D) sprechen.

2.2. GIS Software Konzepte und Softwarekategorien

Für die Darstellung von geographischen Objekten in einem GIS müssen zunächst Daten aufgenommen und anschließend ansprechend visualisiert werden. GISe unterstützen dabei prinzipiell zwei unterschiedliche Formattypen: Raster und Vektor.

Bei Rasterdaten werden Informationen in Form von Pixel gespeichert. Zwischen den Daten besteht keine logische Verbindung. Der geometrische Bezug wird durch eine gleichförmige, rechtwinkelige Matrix hergestellt. Benötigt wird nur der Koordinatenursprung und die Rasterweite, sowie die Nord-Süd bzw. Ost-West Erstreckung.

Träger der Koordinateninformation bei den Vektordaten ist der Punkt. Bei den Punkten wird zwischen Knoten (nodes) und Zwischenpunkten (vertex) unterschieden. Alle anderen geometrischen Primitiva werden durch topologische Beziehungen von Punkten gebildet. Vektorprimitiva können in Punkte, Linien und Flächen unterteilt werden. Zusätzlich zu diesen beiden visuell darstellbaren Datentypen bestehen noch Sachdaten, welche meist tabellarisch vorliegen. Diese Daten können numerisch, alphanumerisch oder auch in binärer Form vorliegen. Über sogenannte Joins werden diese Attributdaten mit den Geodaten über Schlüssel verbunden (nach RIEDL, RIEDL, MITTERMAIER (2012), S.32).

In GIS Software, werden Objekte mit derselben geometrischen Ausprägung meist in sogenannten Layern zusammengefasst, um Aufgaben des Datenmanagements zu erleichtern. Beispielsweise werden alle Orthophotos zu einem Layer zusammengefasst. Damit Analysen zwischen den unterschiedlichen Daten möglich sind, ist es von essenzieller Bedeutung den Raumbezug zwischen den einzelnen Daten einzustellen.

Da nicht alle GIS Anwender alle Möglichkeiten eines GIS ausnutzen bzw. benötigen, gibt es unterschiedliche Komponenten / Kategorien von GISen mit unterschiedlichen Funktionalitäten. Prinzipiell kann zwischen den drei Hauptkomponenten „GIS Viewer“, „GIS Editor“ und „GIS Analyst“ unterschieden werden, welche als Desktop GIS zusammengefasst werden. Weitere Komponenten betreffen das Datenbankmanagement (DBMS), in welchem die Daten abgespeichert werden, Mobile GIS, welche zur Datenaufnahme im Gelände

genutzt werden, Web GIS Anwendungen, welche es ermöglichen GIS Daten über das Internet zu veröffentlichen und Server GIS Anwendungen (siehe Abb. 2 & Tab. 2).

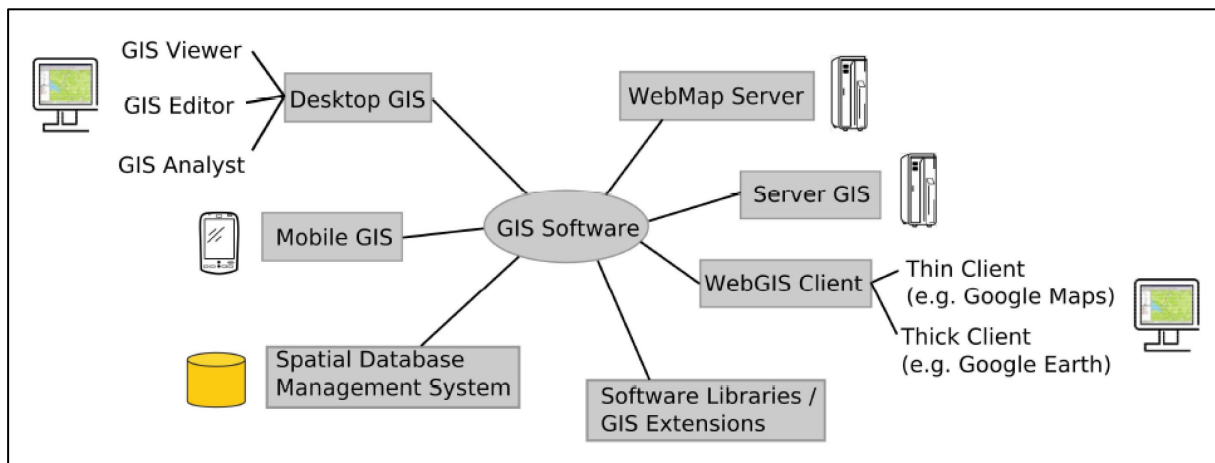


Abb. 2 Unterschiedliche Softwarekategorien von GIS (aus STEINIGER & WEIBEL (2009), S.3)

Tab. 2 Unterschiedliche Funktionalitäten der einzelnen Softwarekategorien (aus STEINIGER & WEIBEL (2009), S.3)

GIS tasks vs. GIS software category	viewing	creation	editing	storage	conflation	transformation	query	analysis	create maps
Desktop GIS									
Viewer	•			•			•		◊
Editor	•	•	•	•		◊	•		•
Analyst	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Spatial DBMS				•		•	•	◊	
WebMap Server	•	◊	◊				•		•
Server GIS				•	•	•	•	•	•
WebGIS Client									
Thin Client	•						•		
Thick Client	•	•	•	•			•	•	•
Mobile GIS	•	•	•	•			•		
Libraries / Extensions				•	•	•		•	•

2.3. 3D Geoinformation

Wie bereits im vorigen Kapitel beschrieben, erlangt die dritte Dimension immer mehr an Bedeutung im Bereich der Geoinformation (sowohl für die Präsentation als auch die Analyse von Daten). Viele unterschiedliche Anwender, sowohl im ländlichen als auch im urbanen Raum, brauchen für ihre Analysen und Bewertungen aussagekräftige und exakte Abbildungen und Modelle der Realität.

So schreiben beispielsweise ZHOU et al. in ihrem Artikel „Urban 3D GIS from LiDAR and digital aerial images“ (2004), dass ein immer größer werdender Bedarf an urbanen 3D Modellen für unterschiedliche Applikationen besteht. Als Beispiele nennen die Autoren urbanes Planen, mikroklimatische Untersuchungen, Untersuchungen für das Aufstellen von Transmittern im Bereich der Telekommunikation, Geräuschsimulationen, Wärmeausbreitungssimulationen, Virtual City Reality und vieles mehr.

2.3.1. Anforderungen an ein 3D GIS

Im Artikel „The 3D GIS Software Development: global efforts from researchers and vendors“ (2001) geben ABDUL-RAHMAN, ZLATANOVA und PILOUK fünf Funktionen an, welche ein 2D GIS im Stande sein muss zu leisten. Ein voll funktionsfähiges 3D GIS sollte daher ebenfalls fähig sein diese Funktionen zu leisten (siehe Tab. 3).

Tab. 3 Anforderungen an 2D / 3D GIS (aus ABDUHL-RAHMAN, ZLATANOVA, PILOUK (2001), S.2)

Datenerfassung / Capture	• Hinzufügen der Daten ins System • Unterschiedliche Techniken der Aufnahme (sowohl von Geometrie- als auch Attributdaten) • Erfassung: manuell, semiautomatisch und automatisch • Output: Vektor- oder Rasterdatenformat
Strukturierung / Structuring	• Vorbestimmend und determinierend für die Anzahl an möglichen Analysefunktionen • Unterschiedliche Strukturierungsmöglichkeiten ○ simple oder komplexe Topologie ○ relational oder objektorientiert
Manipulation / Manipulation	• „Wichtigsten“ Manipulationsfunktionen: Generalisierung und Transformation
Analyse / Analysis	• Veränderungen der Geometrie- und Attributdaten • Generierung von neuer räumlicher Information • Beispiele: Terrainanalysen, Geometrische Berechnungen, Overlaygenerierung, Buffer-Bildung etc.
Präsentation / Presentation	• Finale Aufgabe eines GIS • Darstellung der generierten Ergebnisse in kartographisch ansehnlicher Art in Form von: Karten, Grafiken, Diagrammen

Wie die Autoren bemerken, kann aufgrund der heute zur Verfügung stehenden Technologie, die dritte Dimension immer effizienter zur Visualisierung eingesetzt werden. Viele Wissenschaften und praktische Anwender, wie beispielsweise Geologen, Zivilingenieure, Hydrologen, Raumplaner und andere, würden durch das Arbeiten mit 3D Geodaten praktische Vorteile gewinnen, da nun Lösungen für komplexe Fragestellungen, welche mit einem 2D oder 2.5D GIS nicht beantwortet werden konnten, nun beantwortet werden können. Ein beachtlicher Vorteil liegt natürlich auch in der besseren Visualisierung und Veranschaulichung für den Endnutzer.

2.3.2. Schwierigkeiten bei der 3D GIS Umsetzung

Neben den angeführten Vorteilen gibt bzw. gab es jedoch auch einige Probleme und Schwierigkeiten bei der Umsetzung von 3D GISen, welche von ABDUL-RAHMAN, ZLATANOVA und PILOUK ebenfalls zusammengefasst wurden (siehe Tab. 4).

Tab. 4 Schwierigkeiten bzw. Grundbedingungen und Tools zur adäquaten Umsetzung eines 3D GIS (aus ABDUL-RAHMAN, ZLATANOVA, PILOUK (2001), S.3)

Konzeptionelles 3D Modell	• Information über Semantik, 3D Geometrie und 3D räumliche Beziehungen → 3D Topologie • Definitionen der angewendeten Methoden zur Präsentation der realen Objekte und Beziehungen
Datenaufbereitung	• Hohe Kosten für die Datenaufbereitung (z.B.: von LIDAR Daten) • Trotz fortschreitender Automatisierung → manuelle Bearbeitung noch immer größter Aufgabenbereich • Problemfelder: ○ Modellkonstruktionen verschiedener Datenquellen ○ Automatisierungstechniken (Geometrie- und Texturdaten) ○ Regeln und Algorithmen zur Sicherheit der Datenkonsistenz ○ Algorithmen zur automatischen Bildung von 3D Topologien
Räumliche Analysen	• Analysemöglichkeiten bei weitem noch nicht ausgeschöpft → Entwicklungsbedarf • Standardanalysetools müssen vorhanden sein: ○ Metrische Abfragen (Distanz, Länge, Fläche, Volumen) ○ Logische Abfragen (Verschneidungen, Differenzen) ○ Netzwerkabfragen (kürzeste Wege, Distanzen) ○ Generalisierungs- und Pufferoperationen ○ Verbindungsoperationen
Visualisierung, Navigation und User Interface	• Einfaches und intuitives Echtzeit-Navigieren im 3D Raum • Benutzerfreundliche graphische Bedienungsoberfläche

2.3.3. Anwendungsbereiche von 3D GIS

„Damit sich die hohen Investitionen in die Erfassung und Fortführung von virtuellen 3D Modellen lohnen, muss darauf geachtet werden, dass sie sich nicht ausschließlich zur Visualisierung eignen, sondern vielmehr multifunktional verwendbar sind. Dabei sind insbesondere die Nutzung im Kontext von Analysen und die Anbindung von Fachanwendungen gemeint.“ (GRÖGER & KOLBE (2005b), S. 235).

Wie auch bei 2D Fragestellungen, gibt es im 3D Bereich unterschiedlichste Berufsfelder und Anwender, welche durch das Arbeiten mit dreidimensionalen Daten deutlich aussagekräftigere Informationen und Analysen liefern könnten (aus ABDUL-RAHMAN, ZLATANOVA UND PILOUK (2001), S.3):

- Ökologisches Studien
- Umwelt-Monitoring
- Geologische Analysen
- Zivilingenieure
- Minen Erkundungen
- Hydrographische Analysen
- 3D Stadtmodellierungen und -visualisierung
- Landschaftsplanung
- Architektur
- Navigationssysteme
- Archäologie
- Marine Biologie
- Luftfahrt (ergänzt)
- Raumplanung (ergänzt)

Diese kleine, unvollständige Auswahl an Anwendungsbereichen zeigt wie hoch die Anforderungen und der Nutzen eines adäquat funktionierenden 3D GIS sind. In den folgenden Kapiteln wird auf Anwendungsbereiche, in welchen 3D GISe schon seit längerem etabliert sind, eingegangen.

2.3.3.1. 3D GIS Stadtmodelle

Das Kartieren von Landnutzungen und Gebäudeflächen war für Raumplaner und die dafür zuständige Politik über Jahrhunderte hinweg die Grundlage für die Bemessung von Steuern und ein großes Hilfsmittel der Entwicklungskontrolle. Die Notwendigkeit von genau kartierten Gebäudeflächen im urbanen Raum, nahm mit der Migration in die Zentren dieser Welt immer mehr zu. Zu diesem Zeitpunkt waren die meisten Kartierungen jedoch nur zweidimensional und hatten, wenn überhaupt, lediglich Angaben zur Zahl der Stockwerke

der Gebäude. Durch die Zunahme von Wolkenkratzern, vor allem im angloamerikanischen Raum, wurde es sowohl für die Raumplaner, für Steuerbeamte, aber auch im Bereich der Zensuserhebung, immer schwieriger korrekte Daten, auf Basis der zweidimensionalen Datengrundlage, zu erheben. Einen ersten großen Fortschritt des dreidimensionalen „Urban Plannings“ machte das International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC) im Jahre 1975, als es ein Paper publizierte, in welchem es bei ihrer Analyse von Landnutzungsveränderungen auch Gebäudehöhen und Gebäudestockwerke miteinbezog. Auch wurden erste dreidimensionale, analoge Kartierungen durchgeführt, wobei Gebäude über drei Stockwerke in Perspektive dargestellt wurden (nach MOORE (2002), S.258) (siehe Abb. 3).



Abb. 3 Landnutzung im urbanen Raum der Stadt Enschede. Erste semi-perspektivische, dreidimensionale Abbildung eines urbanen Raums (aus MOORE (2002), S.259))

Eines der Hauptprobleme zu Beginn der Erstellung erster 3D Stadtmodelle war die fehlende Datengrundlage für die Z-Koordinate. MOORE (2002) sieht den Grund für dieses Fehlen in den Anfangsschwierigkeiten der Aufnahme solcher Daten und außerdem im Fehlen von Möglichkeiten der nutzbaren Präsentation der Daten. Erst durch das Aufkommen erster automatisierter Ansätze zur Berechnung von Gebäudehöhen aus Luftbildern und anderer Datenquellen (siehe Kapitel 3), konnten Fortschritte in der Modellierung erzielt werden.

Heute finden 3D Stadtmodelle in unterschiedlichsten Bereichen Anwendung. Besonders in der Detailplanung für Gebäude oder in der Telekommunikation werden solche Modelle in irgendeiner Form eingesetzt. Bei Planungsaufgaben im städtischen- und überregionalen Raum, können 3D Stadtmodelle zur Entscheidungsfindung einen großen Anteil leisten. Hier treffen oft unterschiedliche Interessensgruppen aufeinander, welche mit Hilfe von Analysen und Visualisierungen einen Einblick in zukünftige Projekte erhalten. Beispielsweise muss der Denkmalschutz in Verbindung mit architektonischen Gesichtspunkten gesehen werden. Andere Aspekte die unter Umständen Anspruch auf Mitberücksichtigung bei Planungsvorhaben erheben sind die Verkehrsraumplanung, der Umweltschutz oder jegliche Bauten im Bereich der Naturgefahrenverbauung. LORBER (1996) definiert ein 3D Stadtmodell wie folgt:

„Unter einem digitalen 3D-Stadtmodell ist ein dreidimensionales ComputermodeLL einer Stadt zu verstehen. In diesem Modell sollen die realen Objekte der Stadt möglichst realitätsnah abgebildet werden. Zu jedem Objekt werden die Informationen gespeichert, die für eine räumliche Rekonstruktion erforderlich sind.“

Bei der Generierung von 3D Stadtmodellen, werden je nach Anwendungsgebiet unterschiedliche Datengrundlagen herangezogen, welche zum Teil generalisiert oder exakt im Modell widergegeben werden (aus GTA GEOINFORMATIK (2013)).

- Gebäudegrundrisse (building footprints) – Primärdaten: Airborne Laserscanning (ALS) Daten, Photogrammetrische Aufnahmen, Vermessungen
- Gebäudehöhen (heights) – Primärdaten: ALS Daten, Luftbildphotogrammetrie, Terrestrisches Laserscanning (TLS), unter Umständen Daten zu Stockwerken etc.
- Vereinfachte & detaillierte Dachformen (rooftypes) – Primärdaten: ALS Daten, Luftbildphotogrammetrie (automatisch & semiautomatisch)
- Fassadentexturen (textures) – Stereo-Luftbildpaare, Schrägsichtluftbilder, georeferenzierte terrestrische Aufnahmen vor Ort
- Zusätzlich können Geländemodelle und Attributdaten, wie Benennungen, inhaltliche Informationen zu Gebäuden oder auch Solarpotenziale als Datengrundlage herangezogen werden.



Abb. 4 Beispiel eines 3D Stadtmodelles (GOOGLE EARTH (2012) & eigene Bearbeitung (2013))

3D Stadtmodelle in der Geoinformation können nach unterschiedlichen Kriterien differenziert werden. Dabei bietet sich zum einen der Detaillierungsgrad (altes Unterteilungskriterium) oder der Level of Detail (neues Unterteilungskriterium) zur Unterscheidung an. Welches Modell schlussendlich Anwendung findet liegt beim Endnutzer und von den Anforderungen die an das 3D Stadtmodelle gestellt werden.

Die ältere Differenzierung wird sehr gut von KLAUS (1997) in dessen Artikel „Erstellung von 3D-Stadtmodellen für die virtuelle interaktive Begehung“ erläutert. Er führt drei Modelltypen (Basis, Block und Detail) an, welche jeweils aufbauend auf dem vorhergehenden an Detailreichtum gewinnen. In Tab. 5 sind die wichtigsten Merkmale dieser Modelle angeführt.

Tab. 5 Unterschiedliche 3D Stadtmodellebenen abhängig vom Detaillierungsgrad (aus KLAUS (1997))

Basismodell	• Einfache Darstellung realer Objekte • Häuser als einfache Blöcke (ohne Dachform) • Fassaden haben generische Texturen • Keine Differenzierung bei Straßen und Grünraum • Geringer Datenaufwand aufgrund der großen Generalisierung
Blockmodell	Ergänzungen zum Basismodell: • Reale Dachformen der Häuser • Weitere Differenzierung der Straßen und des Grünraums (z.B.: Darstellung von Gehwegen)
Detailmodell	Ergänzungen zum Blockmodell: • Darstellung der Gebäude mit Fassaden • Fassaden als generische Textur oder Fotoaufnahmen • Detailgetreue geometrische Modellierung • Wenn Fassadenstruktur durch Fotos → geometrische Modellierung kann reduziert werden • Realitätsnahes Abbild der tatsächlichen Objekte

Möchte ein Anwender ein bereits bestehendes GIS an eines dieser drei Modellvarianten anpassen, so müssen hier entsprechende Adaptionen passieren, damit ein entsprechender Informationsgewinn passieren kann. Zusätzlich muss bedacht werden, dass vor allem bei der Visualisierung und Präsentation der Daten die Verwendung und der damit Verbundene Nutzen von Interesse sein sollte. Dementsprechend muss die Wahl auf einen Modelltyp fallen (nach KLAUS (1997), S.4). Zusätzlich schreibt der Autor, dass beispielsweise in Bereichen der Stadtplanung davon ausgegangen werden kann, dass der höchste Detaillierungsgrad benötigt wird, da für diesen Anwendungsbereich genaue Informationen notwendig sind.

Wie bereits oben erwähnt, ist die angeführte Klassifikation nach Block-, Basis und Detailmodell zwar zum Teil immer noch in Verwendung, wird aber immer öfter durch die Differenzierung nach den unterschiedlichen LODs (Level of Detail) abgelöst. In Tab. 6 findet sich ein Überblick über die Einteilung nach den unterschiedlichen LOD – Ebenen / Modelle.

Tab. 6 Klassifikation von 3D Stadtmodellen nach LOD Ebenen (aus STÄDTETAG NORDRHEIN-WESTFALEN (2004), S.75 f.)

LOD 0 – Regionalmodell	• DGM (2,5D) mit Textur/Orthophoto und Flächennutzung • Erfassungsgeneralisierung: maximal • Klassifizierung nach Flächennutzung • Dachform/-struktur: keine • Punktgenauigkeit (Lage/Höhe): >5 Meter / >5 Meter
LOD 1 – Stadt- / Standortmodell	• „Klötzchenmodell“ ohne Dachstrukturen • Erfassungsgeneralisierung: Objektblöcke in generalisierter Form (> 6 x 6 Meter Grundfläche) • Dachform/-struktur: ebene Flächen • Punktgenauigkeit (Lage/Höhe): 5 Meter / 5 Meter
LOD 2 – Stadt- / Standortmodell	• Texturierte Modelle mit differenzierter Dachstruktur und Vegetationsmerkmalen (z.B.: Bäumen) • Erfassungsgeneralisierung: Objektblöcke in generalisierter Form (> 4 x 4 Meter Grundfläche) • Dachform/-struktur: Dachtyp und Ausrichtung • Punktgenauigkeit (Lage/Höhe): 2 Meter / 1 Meter
LOD 3 – Stadt- / Standortmodell	• Geometrisch fein ausdifferenzierte Architekturmodelle mit Vegetation und Straßenmobiliar • Erfassungsgeneralisierung: Objekte in realer Form (> 2 x 2 Meter Grundfläche) • Dachform/-struktur: reale Form • Punktgenauigkeit (Lage/Höhe): 0,5 Meter / 0,5 Meter
LOD 4 – Innenraummodell	• „Begehbare“ Architekturmodelle • Erfassungsgeneralisierung: reale Form • Dachform/-struktur: reale Form • Punktgenauigkeit (Lage/Höhe): 0,2 Meter / 0,2 Meter

KLAUS (1997) sieht unterschiedlichste Einsatzmöglichkeiten von 3D Stadtmodellen, welche vor allem im Bereich der Raumplanung Verwendung finden. So können Visualisierungen neu geplanter Baugebiete, Herstellung von 3D Stadtplänen oder das Einfügen neuer Gebäude in das Stadtbild als Anwendungsbereiche genannt werden. Zusätzlich können Sichtbarkeits- bzw. Distanzanalysen oder andere Abfragen von Sekundärinformationen Anwendungsbereiche darstellen.

Aufgrund dieser breiten Palette der Anwendungsbereiche ergibt sich für KLAUS (1997) auch eine weitere Reihe von Vorteilen. Da die meisten Anwender bereits über eine bestehende Datengrundlage verfügen, können die 3D Stadtmodelle relativ günstig erzeugt werden. Als Folge der dreidimensionalen Visualisierung von Geoobjekten können komplexe Strukturen und Zusammenhängen aufgrund unterschiedlicher perspektivischer Ansichten leichter erkannt und analysiert werden. Durch die Interaktivität die die Stadtmodelle bieten, werden zudem virtuelle Rundflüge ermöglicht, die in Kombination mit Ein- und Ausblendefunktionen unterschiedliche Alternativen im Bereich von raumplanerischen Projekten ermöglichen darzustellen.

2.3.3.2. 3D GIS Modelle in der Geologie und Geomorphologie

Wie auch in den raumplanerischen Wissenschaften beschäftigen sich auch die Disziplinen der Geologie und Geomorphologie mit raumbezogenen, dreidimensionalen Daten. Die räumliche Visualisierung von geologischen Daten kann dem Experten und Laien ein besseres Verständnis von geologischen und geomorphologischen Strukturen und Prozessen geben. ELFERS et al. definieren die Begriffe 3D Geologie und 3D Geokörper wie folgt:

„3D Geologie ist die Modellierung und Dokumentation des geologischen Wissens über den Untergrund als Geokörper. Dabei werden geologische Kartiereinheiten als Homogenbereiche in Bezug auf Stratigraphie, Lithologie und Genese definiert und aufgenommen (Geologisches Basismodell).“

„3D Geokörper sind dreidimensionale Abbilder des Untergrundes. Sie entstehen durch die geologische Modellierung, beschreiben begrenzte Körper mit gleichen Eigenschaften und sind durch Flächen (z.B. Top, Basis, Störungen) allseitig begrenzt. Die Gesamtheit der Geokörper bildet das geologische Basismodell.“

ELFERS et al. (2004) führen an, dass bis vor kurzem für Geologen vor allem verhältnismäßig großmaßstäbige zweidimensionale geologische Karten bzw. speziell generierte Karten, welche ein bestimmtes Merkmal des Untergrundes darstellten, und aufgezeichnete Profile die Datengrundlage darstellten. Die Analyse und vor allem die richtige Interpretation einer solchen Ansammlung von Teilinformationen setzt somit jahrelange Erfahrung voraus. Mit Hilfe der neuen geologischen 3D Modelle ist es nun möglich deutlich mehr Information über einen Geokörper darzustellen und zu beschreiben.

„Über Verknüpfungen der Geokörper zu Fachdaten wird es die zentrale und einheitliche Datenbasis für alle Fachdisziplinen der Geologie.“ (ELFERS et al. (2004), S.4)

Bei der Generierung von 3D Modellen der Geologie, werden je nach Anwendungsgebiet unterschiedliche Datengrundlagen herangezogen, welche zum Teil generalisiert oder exakt im Modell widergegeben werden (aus ELFERS et al. (2004), S.4):

- *„Lithologisch-strukturell definierte Homogenbereiche stehen in der Regel in einer stratigraphischen Abfolge*
- *zwischen den Geokörpern des Modells muss eine Topologie aufgebaut sein (benachbarte Körper müssen sich „kennen“)*
- *Geokörper müssen nach Bedarf veränderbar und untereinander kombinierbar sein*
- *Teilmodelle müssen zu einem Gesamtmodell verknüpfbar sein*
- *Veränderungen müssen nachvollziehbar sein*
- *die 3D-Modelle müssen auswertbar und räumlich visualisierbar sein*
- *modellbestimmende und abgeleitete Eigenschaften müssen recherchierbar und auswertbar sein“*

3D Modelle in der Geologie und Geomorphologie haben unterschiedliche Einsatzgebiete und liefern für unterschiedliche Fragestellungen Lösungen und sind wichtige Entscheidungsgrundlage für viele Planungen (z. B. in den Bereichen Rohstoffsicherung, Trinkwasserversorgung, Nutzung des geothermischen Potenzials oder Einschätzung von Georisiken). Die angeführten Punkte sind ein kleiner Einblick über den möglichen Nutzen, der aus diesen 3D Modellen gewonnen werden kann (aus LFU BAYERN (2013)).

- *„Schutzfunktionskarten der Grundwasserüberdeckung*
- *Karte der Einsatzmöglichkeiten von Methoden der Nutzung von oberflächennahen Geothermie*
- *Numerische Grundwasserströmungsmodelle*
- *Statistische Charakterisierung von Grundwasserleitern durch physikalische Parameter (z.B.: Durchlässigkeit, Korngrößenverteilung)*
- *Für eine in Zukunft genauere Erdbebenlokalisation sind 3D Modelle unabdingbar*
- *Ergiebigkeitsstudien zur Abschätzung von geothermischen Wärmekraftanlagen*
- *Modellierung von geophysikalischen Parametern der Gravimetrie und Magnetik für geologische Krustenelemente (z.B.: Tiefenlage der Kruste-Mantel-Grenze)“*
- *Ableitung von Eigenschaften des Untergrundes wie (ergänzt aus ELFERS et al. (2004), S.5):*
 - *„Verwitterungsverhalten*
 - *Quell/Schrumpfvermögen*
 - *Verdichtbarkeit*
 - *Porosität*
 - *Porenvolumen*
 - *Durchlässigkeit“*

Mithilfe der im letzten Punkt von ELFERS et al. beschriebenen Eigenschaften können zusätzlich speziell angepasste Modelle erzeugt werden, welche sich auf bestimmte Teilbereiche der Geologie und Hydrologie spezialisieren (z.B.: hydrogeologische Modelle, ingenieurgeologische Modelle, rohstoffgeologische Modelle). In Abb. 5 ist ein Beispiel für ein dreidimensionales geologisches Modell, welches unterschiedliche geologische Schichten im Bereich der San Andreas Verwerfung darstellt, abgebildet.

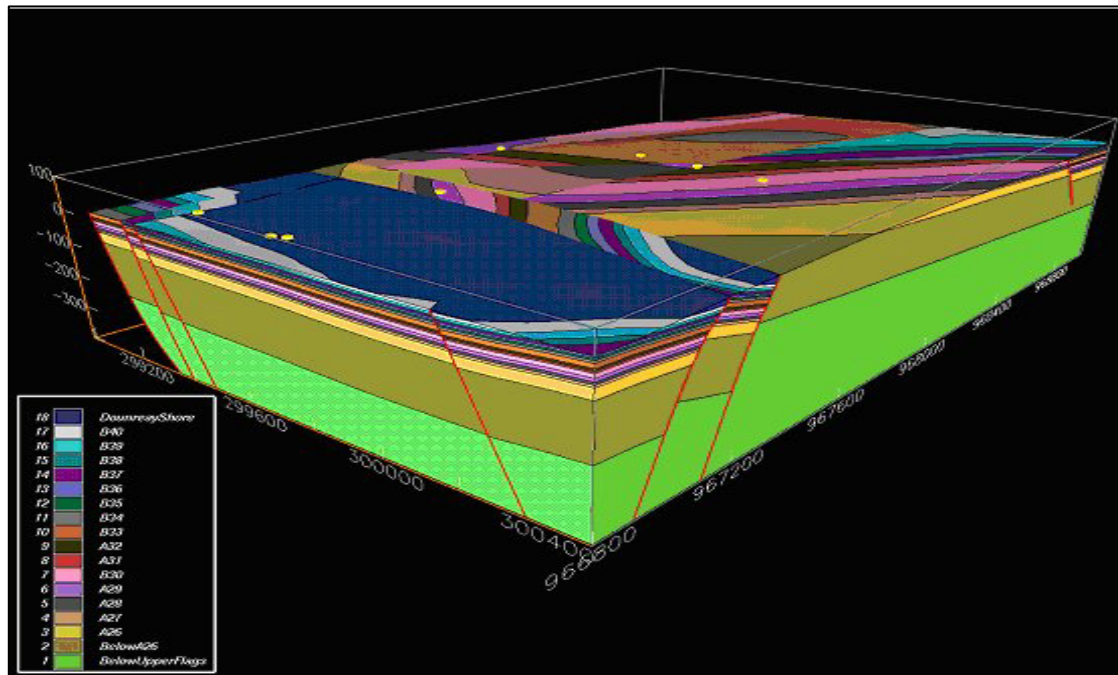


Abb. 5 Geologisches 3D Modell (aus GALSON SCIENCES LIMITED (2013))

Als zusätzliche Unterstützungen, welche vor allem Anwendung im Feld finden, sind mobile Geodienste zu nennen (nach THOMSEN et al. (2005), S.371). Diese können nicht nur Angaben über die Beschaffenheit des Untergrundes vermitteln, sondern bieten zudem noch die Möglichkeit mit Hilfe von Verschneidungen, von elementaren Grundlagendaten, spezifische Informationen zu generieren. Abfragen, welche vor Ort durchgeführt werden können, sind die Verortung und Bestimmung von geologischen Einzelobjekten und von ganzen Formationen oder der Datenaustausch von Objekten und Operationsdiensten. THOMSEN et al. unterscheiden in diesem Zusammenhang einerseits einfache Operationsdienste, wie die Berechnung von Eigenschaften der Geoobjekte (Volumen, Flächeninhalt etc.) und andererseits komplexe Operationsdienste, wie den Schnitt einer Ebene, die Projektion auf eine Ebene oder affine Transformationen von 3D Geoobjekten. So kann laut den Autoren ein anwendungsspezifischer Dienst beispielsweise aus der Definition einer Schnittebene und der Auswahl von komplexen geologischen 3D Objekten einen zweidimensionalen Profilschnitt erzeugen.

2.3.3.3. Augmented Reality

Wie HILBRING (2005) schreibt, versteht man unter Augmented Reality (AR) (= erweiterte Realität) die (visuelle) Überlagerung von virtuellen Informationen mit der Realität in Echtzeit.

RIEDL (2011) sieht in AR-Systemen einen „missing link“ zwischen der realen Welt und der virtuellen. Man kann somit sagen, dass dem Nutzer im Gelände oder Feld zusätzliche Information, welche so nicht vorhanden wäre, vermittelt wird. Es kommt daher zu einer Ergänzung bzw. einer Überlagerung der echten Umwelt mit Informationen aus dem virtuellen Raum. Die Lage des virtuellen Raumes wird vom AR System entsprechend dem Standort und der Blickrichtung des Betrachters in den realen Raum projiziert. AR bietet dabei eine völlig neue Betrachtungsweise jeglicher raumbezogener Daten, da sich diese direkt vor Ort darstellen lassen.

Vor allem bei architektonischen Fragestellungen stellen AR Anwendungen eine große Hilfestellung bei der Erkenntnisgewinnung dar. Guo et al. schreiben in ihrem Artikel „Application of Augmented Reality GIS in Architecture“ (2008), dass AR Anwendungen seit einigen Jahren einen Hot Spot in der Entwicklung von dynamischen Softwareprodukten zur Realisierung der virtuellen Informationsübertragung darstellen.

„Augmented reality (AR) is an important branch of virtual reality, and it's a hot spot of study in recent years. AR is that organically, in real-time and dynamically overlaying virtual images created by computers and other information on real environment which the observer sees. And when the observer moves in real environment, virtual information changes according to the movement, just like those virtual information truly exists in real world.“

AR besitzt nach Guo et al. (2008) zwei wichtige Eigenschaften:

- Die Abfragen und Prozesse passieren interaktiv und in Echtzeit
- Es kommt zu einer Verschmelzung von virtuellen und echten Geoobjekten

Nach RIEDL (2010) setzt sich ein AR System aus folgenden Komponenten zusammen:

- Kommunikationseinheit (Sichtgerät, Zeichenträger, Steuervorrichtung)
- Modellierungs- und Abspielumgebung (Builder, Formate, Browser/Viewer)
- Daten

3D GISe stellen somit bei AR die Daten für virtuelle Geoobjekte bereit, welche dem Nutzer die zusätzliche Information liefern. Nicht nur Stadtmodelle und Informationen zu diesen können genutzt werden, sondern so gut wie alle in einem GIS analysier- und modellierbaren Thematiken. Als Beispiele nennt RIEDL (2011) Geologie, Hangneigungen, Expositionen, Sonneneinstrahlungen, Infrarotaufnahmen, Versorgungsleitungen, Grundstücksgrenzen oder parzellenbezogene Nutzungskartierungen. Als eines der ersten und sehr einfachen Beispiele für AR ist die Einblendung der Abseitslinie bei Fußballspielen in Fernsehübertragungen zu sehen.

Eines der führenden Institute im Zusammenhang mit der Entwicklung von AR Systemen ist das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung an der Universität in Karlsruhe. Mit sogenannten „Seethrough-Brillen“ oder durch „Retina-Displays“ versuchen die Forscher dreidimensionale, virtuelle Geoobjekte so darzustellen, dass es für den Anwender möglich ist unterschiedliche geologische Formen zu erkennen und in der Folge auch zu analysieren. So verspricht man sich dadurch beispielsweise tektonische Flächen und Linien zu visualisieren, von welchen dann Gesteinsvolumina mit Hilfe von passenden Sensoren berechnet werden (nach HILBRING (2005), S.37). RIEDL (2011) führt als weiteres Anwendungsgebiet die Zuhilfenahme von AR Systemen beim Wandern an, die dadurch ein Orientierungslosigkeit verhindern sollen. Dadurch würde laut dem Autor das AR System die konventionelle Wanderkarte oder zurzeit übliche GPS-Geräte ersetzen.

AR kann aber nicht nur visuell sondern auch akustisch Information übermitteln. Durch zusätzliche Soundeffekte bzw. gesprochene Inhalte kann so noch mehr Information vermittelt werden.

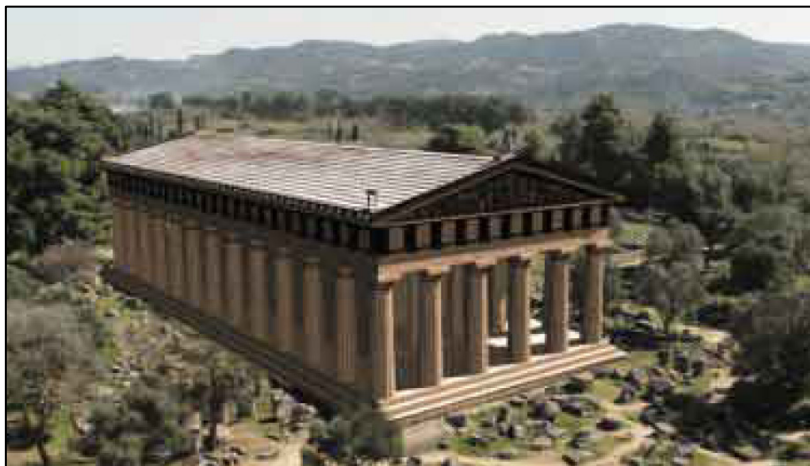


Abb. 6 Darstellung eines Griechischen Tempels mittels der Software „Archeoguide“ als Beispiel für einer Augmented Reality Anwendung (aus HILBRING (2005), S.37)

Ein weiteres Anwendungsgebiet von AR liegt im Katastrophenmanagement. In ihrem Artikel „Augmented Reality im Katastrophenmanagement“ stellen LEEBMANN et al. (ebenfalls an der Universität Karlsruhe) dabei ein Augmented Reality System (ARS) vor, das eine experimentelle Umgebung darstellen soll, in der neue Methoden zur Katastrophenvorsorge und zur Planung von Maßnahmen nach Katastrophen getestet werden können. Dabei liefert das ARS die Planungsinformation und soll in der Folge dabei katastrophenrelevante Informationen vermitteln, die sonst für den Experten und Laien nicht sichtbar wären. Die dargestellten Inhalte werden dabei geometrisch korrekt mit der Realität im gleichen Maßstab überlagert. Ein ARS kann während des gesamten Zyklus der Katastrophenbewältigung Anwendung finden. Ein derartiger Zyklus ergibt sich aus der auf ein katastrophales Ereignis folgenden Kette von Reaktionen einer Gesellschaft (Katastrophe → Rettungsmaßnahmen → Wiederherstellung und Rekonstruktion → vorbeugende

Maßnahmen → Bereitstellung von Mitteln zur neuerlichen Abwehrbereitschaft & vorbereitende Maßnahmen). In dieser letzten Phase der vorbereitenden Maßnahmen, kann ein ARS zur Darstellung von Simulationen dienen. Somit werden Sachverhalte begreifbarer gemacht, für welche ansonsten Expertenwissen benötigt würde. So kann man leichter Rettungspersonal einschulen oder ein Bewusstsein unter der Bevölkerung schaffen. Je nach Natur der Katastrophe ergeben sich verschiedene Anwendungsfälle. In Karlsruhe werden vor allem Hochwasser (siehe Abb. 7) oder Erdbeben bearbeitet und visualisiert (nach LEEBMANN et al. (2005), S.305 f.).



Abb. 7 Hochwassergefahrenkarte in Kartenansicht (links) und in Kameraansicht als AR (rechts) (aus FUCHS-KITTOWSKI et al. (2012), S.22)

2.3.3.4. 3D GIS Modelle in der Meteorologie und Geodynamik

Eine weitere Anwendung von 3D GIS Modellen stellen Atmosphärenmodelle (AM) in der Meteorologie und Geodynamik dar. Da die hierbei Beschriebenen Prozesse wie fast keine anderen in allen Richtungen des Raumes wirken, ist die Begründung für die Anwendung von 3D GIS Modellen sehr leicht verständlich. BERNARD (2005) sieht den Anwendungsbereich von AM dabei sowohl im mikro- als auch im mesoskaligen Bereich der Stadt- und Regionalplanung. Er formuliert in diesem Zusammenhang folgende Fragestellungen, welche mit Hilfe von 3D GIS Atmosphärenmodellen beantwortet werden können (aus BERNARD (2005), S.336):

- „Wie sind die klimatischen Verhältnisse dichtbesiedelter Gebiete zu bewerten?
- Wo und wann ist Frostgefährdung zu erwarten?
- Wo ist das höchste Windenergiepotenzial für eine geplante Windkraftanlage?
- Wo und wann sind durch eine projektierte Industrie- oder Verkehrsanlage Schadstoffbelastungen oberhalb der gesetzlichen Grenzwerte zu erwarten?
- Welche klimatischen Auswirkungen hat eine geplante Baumaßnahme?“

Durch die Verschneidung von 3D GIS Modellen mit AM können diese Fragestellungen beantwortet werden und dienen somit der städtischen und regionalen Umweltplanung. Besonders Augenmerk bei der Kombination der beiden Systemkomponenten liegt dabei in der flexiblen Integration der beiden Komponenten und in der Erweiterbarkeit durch andere Parameter (nach BERNARD (2005), S.342). BECKER et al. (2002) sehen in der Kombination der beiden Systeme einen Vorteil, da ein GIS keine Möglichkeit bietet den Faktor „Zeit“ ansprechend zu modellieren und da AM keine Möglichkeiten besitzen Daten mit einem Raumbezug entsprechend zu bearbeiten. BERNARD (2005) definiert drei unterschiedliche Konzepte zur Kombination von AM und GIS:

a) Kopplung über Dateischnittstellen

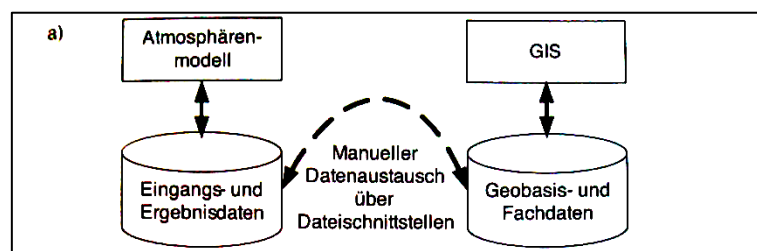


Abb. 8 GIS & AM - Kopplung über Dateischnittstellen (aus BERNARD (2005), S.343)

b) Gemeinsame Daten- und Methodenzugriffsschicht – Erste Stufe der Interoperabilität

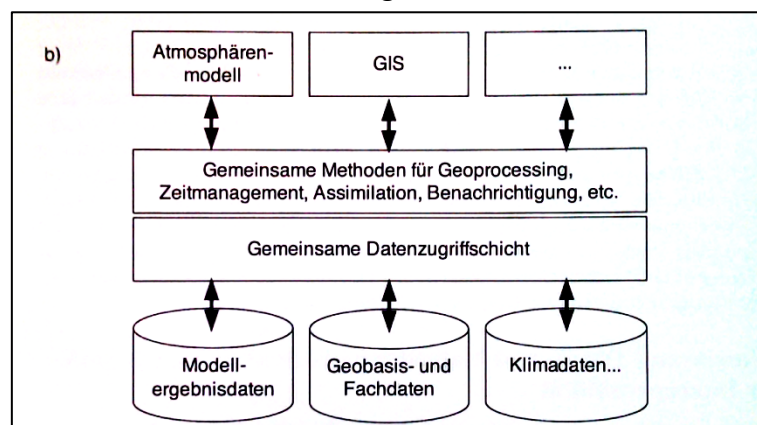


Abb. 9 GIS & AM - Erste Stufe der Interoperabilität (aus BERNARD (2005), S.343)

c) Infrastrukturen zur Kombination von Geoinformations- und Simulationsdiensten –
Zweite Stufe der Interoperabilität

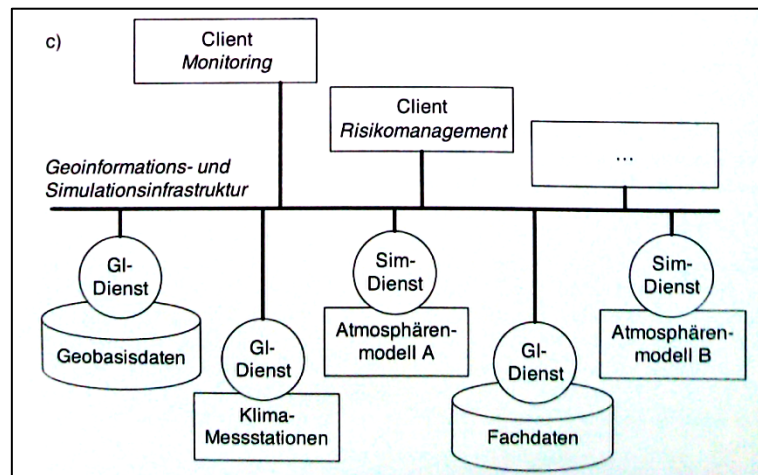


Abb. 10 GIS & AM – Zweite Stufe der Interoperabilität (aus BERNARD (2013), S.343)

Heute ist vor allem Variante „c“ als die zukunftssträchtigste zu sehen, da durch die dynamische Verbindung eines GIS und des AM eine redundante Datenhaltung, ein Semantikverlust und eine geringe Effizienz vermieden wird. Auf der Seite der Geoinformation muss somit eine objektorientierte, interoperable GIS-Umgebung gegeben sein (nach BECKER et al. (2002), S.430). Bei der Wahl des Koordinatensystems führt BERNARD (2005) an, dass in der Geoinformation in diesen Maßstäben üblicherweise kartesische Koordinatensysteme verwendet werden. Jedoch gestaltet sich die Integration dieser bei der Kombination mit einem AM relativ komplex, wodurch Orographie-folgende Koordinatensysteme eingesetzt werden.

Die verwendeten AM beschreiben vor allem die Prozesse der untersten Troposphäre (zwischen einem und zwei Kilometer). Besonders während des Tages kommt es hier zu instabilen Schichtungen innerhalb von nur wenigen hundert Höhenmeter. Als Beispiele für Phänomene, welche durch solche AM erklärt werden sind Land-Seewind- und Berg-Talwindssysteme oder die von urbanen Zentren verursachten thermischen Austauschprozesse mit dem Umland zu nennen. In zeitlicher Hinsicht sind somit relativ kurze Zeiträume von Interesse. Als Grundlage und für die formale Beschreibung der AM werden dabei hydro- und thermodynamische Gleichungen verwendet, welche die komplexen Prozesse durch unterschiedlichste Parametrisierungen so vereinfachen, dass sie in Simulationen eingesetzt werden können. BERNARD (2005) nennt in diesem Zusammenhang unterschiedliche Parametrisierungen:

- topographische Reibungseinflüsse
- Feuchte- und Wärmeflüsse im Boden
- chemische Umsetzungsraten von Schadstoffen.

2.3.3.5. 3D GIS Modelle in der Raumplanung

Auch in der Raumplanung sind 3D GIS Modelle schon seit langem nicht mehr wegzudenken. Die Raumplanung kann sogar als eine der ersten Anwendungsfelder von 3D GIS Modellen genannt werden. Besonders im Rahmen von Standortplanung sind Analysen mit 3D GIS Modellen von Vorteil.

Ein konkretes Beispiel, welches vor allem in den letzten Jahren aufgrund des Booms von erneuerbaren Energien, immer wieder durch die Medien kursiert und auch in unterschiedlichen Publikationen zu finden ist, ist der Ausbau von Windkraftanlagen. Dabei könnte der öffentliche Diskurs nicht kontroverser sein. Für die Gegner der Windparks ist vor allem die negative Veränderung der Landschaft eines der Hauptargumente, wohingegen die Befürworter den Nutzen und die positiven Eigenschaften dieser alternativen Energieform anführen. Um geeignete Standorte zu identifizieren müssen somit genaue Planungsschritte im Vorfeld getätigt werden, um eine optimale Lösung für alle Beteiligten zu schaffen. Auch hier kann mit Hilfe der 3D Geoinformation Abhilfe geschaffen werden (nach INTERGRAPH (2012)). Für die Wahl der Standorte für Windkraftgroßanlagen müssen meist einige bestimmte Kriterien erfüllt sein. Das LAND OBERÖSTERREICH (2012) führt in diesem Zusammenhang vier Punkte an, welche für eine positive Ausweisung zutreffen müssen:

- I. *„Schutz bestehender Siedlungen und deren rechtswirksamen Erweiterungen*
- II. *Räumliche Konzentration von Windkraftgroßanlagen auf effiziente Standorträume*
- III. *Beschränkungen von Windkraftgroßanlagen unter Bedachtnahme auf das überörtliche Landschaftsbild und auf ökologische Gesichtspunkte*
- IV. *Ausschluss von Standorträumen die ökologisch, landschaftlich und touristisch untragbar wäre“*

Besonders das Kriterium der Sichtbarkeit ist dabei ein sehr wichtiges, schlägt sich dieses doch vor allem im Landschaftsbild nieder. Dabei können vor allem 3D GIS gestützte Analysen bereits vor der Errichtung visuell ansprechende Modellierungen liefern, die den Entscheidungsträgern ein mögliches Szenario zeigen.

An der Fachhochschule Frankfurt am Main im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, wurden solche Sichtbarkeitsanalysen durchgeführt. Ziel dieses Projektes war es, anhand einer Pilotregion bereits vorhandene als auch geplante Windparks hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Landschaftsbild zu analysieren. Dabei wurde versucht, folgende Fragestellungen zu beantworten (aus INTERGRAPH (2012)):

- „Wird sich ein längliches Vorranggebiet mit einer Fläche für drei Windenergieanlagen genauso auf die Landschaft aus wie ein eher kreisförmiges?“
- Sind im angrenzenden Wohngebiet weniger Windenergieanlagen sichtbar und ist es somit weniger stark belastet, wenn der Standort 50 Meter östlicher liegen würde?
- Wie verändert ein weiteres Vorranggebiet die Gesamtbelastung in den jeweiligen Wirkzonen?
- Wie verändert sich das Landschaftsbild bei einem möglichen „Repowering“ (Ersatz alter durch neue Anlagen) in Form größerer Anlagen?“

Mit Hilfe der 3D Visualisierung von möglichen Standorten ist es somit möglich, bereits vor der Errichtung besonders den Faktor der visuellen Beeinflussung abzuklären und der breiten Öffentlichkeit zu präsentieren und dadurch die Akzeptanz zu steigern. Außerdem lassen sich mit 3D GISen somit auch die am besten geeigneten Standorte identifizieren. Aber nicht nur die Windkraft, sondern auch andere Felder der Raum- und Landschaftsplanung können von solchen (Standort-)Analysen profitieren. INTERGRAPH (2012) führt als Beispiele Hangausrichtung für Solaranlagen oder im Weinanbau, Volumenberechnungen, Berechnung von Fließrichtungen oder Analysen von Waldhöhen an.

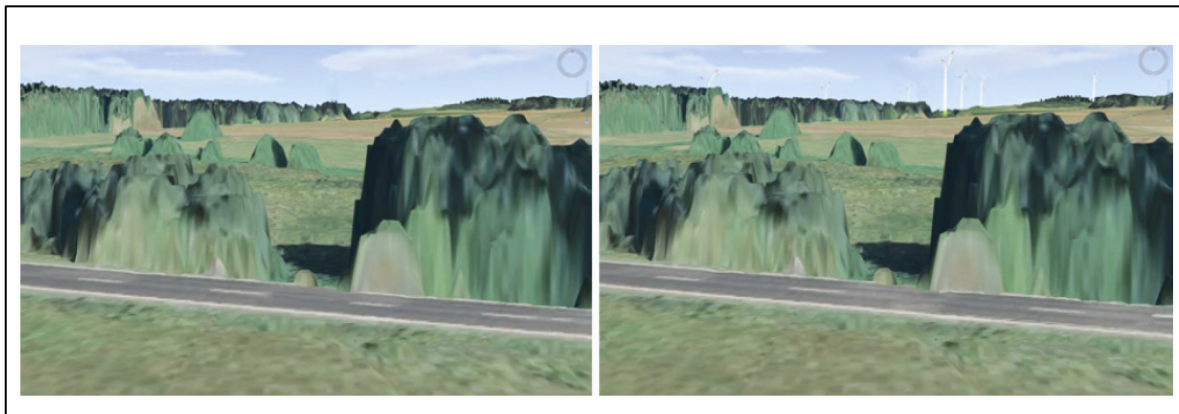


Abb. 11 3D Visualisierung aus Laserscandaten - ohne (links) und mit Windenergieanlagen (rechts) (aus INTERGRAPH (2012))

2.3.3.6. 3D GIS Modelle in der Luftfahrt

„Die moderne Luftfahrt ist ohne digitale Geodaten nicht mehr denkbar. Dreidimensionale Informationen sind dabei ein zwingender Bestandteil, da die Luftfahrt wie kaum ein anderer Vorgang im dreidimensionalen Raum stattfindet.“ (NEBIKER (2005), S. 320).

Vor allem die Analyse und Kontrolle der Hindernisfreiheit von Flugwegen aber auch im Bereich der Navigation, in der Flug- und Betriebssimulation, im Bereich der Lärmberechnung, als auch im militärischen Bereich, bei der Abschätzung des Gefahrenpotenzials des Luftraums, spielen 3D Geodaten eine immer wichtigere Rolle (nach BITTER & LEU (2010)).

Die Auslastung von Flughäfen nimmt stetig zu, was eine immer effizientere Optimierung des Verkehrsflusses mit sich bringt, damit Verspätungen minimiert werden können. Zudem müssen Sicherheits- und Lärmrestriktionen eingehalten werden, welche (am Beispiel Europa) von der Euro-Control (europäische Flugsicherheitsbehörde) definiert und umgesetzt werden. 3D GISe sollen dabei helfen die in diesem Rahmen vorgeschriebenen Restriktionen und Gesetze einzuhalten und die geplanten Strategien bestmöglich umzusetzen (nach NEBIKER (2005), S. 320). Für die Luftfahrt besonders relevante 3D Geodaten sind dabei zum einen kartographische Flugplatzinformationen (aerodrome mapping information) und zum anderen Gelände- und Luftfahrthindernisdaten (obstacle and terrain data). In Tab. 7 sind die wesentlichsten Geodatentypen angeführt:

Tab. 7 Wichtigste Geodatentypen in der Aviatik (aus NEBIKER (2005), S. 322)

2D Geoobjekte	• Beschreibung gelände-gebundener Objekte wie Rollwege, Pistenmarkierungen oder Parkfelder
Höhenmodelle	• Sowohl als DSM als auch DTM • Meist in Form eines Raster
Geländetexturen	• Orthophotos • In Kombination mit den Höhenmodellen → wichtigste Informationsquelle in der Aviatik
Dynamische 3D Geoobjekte	• Gebäude und allgemeine Bauten (Windräder etc.) • Hindernisse • Pistenschwellen oder Pistenachsen • Anflugbefeuerung / Gleitpfad Indikatoren

Bei der Visualisierung der Daten kommen je nach Anwendung einerseits symbolisierte und andererseits realitätstreue 3D Visualisierungen zum Einsatz. Besonders die realitätstreuen Visualisierungen müssen dabei hohe Anforderungen erfüllen. Diese weisen daher meist kaum / sehr geringe Generalisierungen, wie man sie aus normalen GIS Anwendungen kennt, auf, wodurch hier eine spezielle Adaption der verwendeten GIS Solutions durchgeführt werden muss. Speziell für die Schulung von Fluglotsen, aber auch von Bodenpersonal, ist ein Maximum an Realitätstreue ein wichtiger Faktor, welcher durch Animationen und andere dynamische Objekte erzeugt wird (siehe Tab. 8) (nach NEBIKER (2005), S.325).

Tab. 8 Optische Effekte zur Maximierung der Realitätstreue (aus NEBIKER (2005), S. 325)

Wetter	• Niederschlag und räumliche Wolkenmodelle • Staub und Rauch
Tages- und Jahreszeiten	• Sonnenstand und Schattenwurf • Visualisierung des Nachthimmels (lagerichtige Darstellung wichtiger Sterne und Planeten)
Künstliche Beleuchtung	• Pistenbeleuchtung, Positionslichter, Anflugbefeuerung etc.
Spezialeffekte	• Abbildung eines realitätsnahen Arbeitsumfeldes (z.B.: Feldstecherfunktion im Tower etc.)

In Tab. 9 sind nun unterschiedliche Anwendungsfelder stichwortartig zusammengefasst.

Tab. 9 Praktische Anwendungsfelder von 3D Geoinformation der Luftfahrt (aus NEBIKER (2005), S.328 ff.)

Kartierung und Nachführung von Luftfahrthindernissen	• Kartierung vor allem von linienhaften Hindernissen (Hochspannungsleitungen, Seilbahnen etc.) • Datenerfassung durch ALS, als auch durch Photogrammetrie (siehe Kapitel 3)
Luftfahrtinformationsprodukte und -dienste	• Aufbereitung des kartographischen Materials in Luftfahrthandbüchern für Piloten AIPs (aeronautical information publication) • Durch Abonnemente periodische Aktualisierung der Datenbanken und / oder aktuelle Daten auf mobilen Anwendungen (z.B.: http://www.aviontek.com/)
Training und Simulation	• Austausch von Szenarien über definierte Schnittstellen und Formate • Einheitliche 3D Datenbasis welche mehrfach genutzt werden kann

Wie man schon allein anhand der verwendeten Geodaten erkennen kann, ist das Spektrum der Anwendung von 3D GISen in der Luftfahrt sehr groß.

2.3.4. Kommerzielle und OpenSource 3D GIS - Software

GISe, die heute käuflich bzw. gratis (OpenSource) zur Verfügung stehen, haben in den meisten Fällen bereits Module oder Extensions, welche zur Modellierung und Analyse des dreidimensionalen Raums verwendet werden können. Außerdem gibt es noch spezielle (Stand-Alone) 3D GISe, die für ganz spezielle Fragestellungen entwickelt wurden und meist nur dort ihren Einsatz finden (z.B.: in der Geologie, im Katastrophenmanagement etc.).

Die verbreitetsten und kommerziell erfolgreichsten 3D GIS Softwaresolutions sind ESRI's ArcGIS (mit der 3D Analyst Extension), der LandXplorer Studio Professional der Firma 3D Geo und TNTmips der Firma MicrolImages INC. Die wahrscheinlich bekannteste Lösung im Bereich von OpenSource Software ist Grass GIS. In Tab. 10 sind die Möglichkeiten und Limitierungen

der unterschiedlichen Produkte angeführt. Die Informationen wurden dabei von SCHULZE (2008) übernommen. Da für die Modellierung und Analyse (siehe Kapitel 5 und Kapitel 6) ArcGIS in der Version 10.1 verwendet wurde, wurden Informationen über diese Version zusätzlich ergänzt.

Tab. 10 Überblick über Möglichkeiten der 3D Analyse und Modellierung unterschiedlicher Softwaresolutions (aus SCHULZE (2008) & eigene Bearbeitung (2013))

	ArcGIS 10.1	ArcGIS 9.2	Land Xplorer 3.5.3	TNT mips 2008:74	Grass GIS 6.3.0
Datenmodell					
Objekt	Volumen / Flächen	Flächen	Volumen	Flächen	Flächen
Gelände	GRID / TIN	GRID / TIN	GRID / TIN	GRID / TIN	GRID / Voxel
Datenhaltung					
Import von 3D Objekten	SHP, 3DS, DWG, GML, DXF, SKP, VRML, WRL, FLT, DAE	SHP, 3DS, DWG, GML, DXF	SHP, 3DS, CityGML, DWG	SHP, DWG, DXF, KML	SHP, DWG, DXF
Import von Gelände	TIF, ASCII Grids, LAS	TIF, ASCII Grids	TIF, ASCII Grids	TIF, ASCII Grids	TIF, ASCII Grids
Datenbank-anbindungen	✓	✓	✓	Teilweise möglich	Teilweise möglich
Objektanalyse					
3D-Lageabfrage	✓	-	-	-	-
3D-Pufferbildung	✓	-	-	-	-
3D-Verschneidung	✓	-	-	-	-
Geometrische Berechnungen	✓	-	-	Teilweise möglich	-
Geländeanalyse					
Hangneigung	GRID/TIN/LAS	GRID/TIN	GRID	GRID	GRID
Ausrichtung	GRID/TIN/LAS	GRID/TIN	GRID	GRID	GRID
Höhenlinien	GRID/TIN/LAS	GRID/TIN	GRID	GRID/TIN	GRID
Beleuchtung	GRID/TIN/LAS	GRID/TIN	-	GRID	GRID
Profilberechnung	GRID/TIN/LAS	GRID/TIN	-	GRID/TIN	GRID
Sichtlinie	GRID/TIN/LAS	GRID/TIN	-	GRID	GRID
Berücksichtigen v. Objekten	GRID/TIN/LAS	-	-	-	GRID
Geometrische Berechnungen	GRID/TIN/LAS	GRID/TIN	-	GRID	GRID

2.3.5. Geschichte der 3D GIS Entwicklung

Im letzten Teil dieses Kapitels wird nun ein geschichtlicher Einblick in die Entwicklung von 3D GISen gegeben. ABDUL-RAHMAN, ZLATANOVA UND PILOUK (2001) geben einen kurzen Überblick über die geschichtliche Entwicklung der Ansätze unterschiedlicher Autoren, um 3D Geodaten zu verarbeiten (siehe Tab. 11).

Tab. 11 Unterschiedliche Entwicklungsansätze von 3D Software (aus ABDUL-RAHMAN, ZLATANOVA, PILOUK (2001), S. 5, PEUCKER et al. (1976) & eigene Bearbeitung (2013))

Peucker et al. (1976)	• Entwicklung des ersten TINs • Zurückzuführen auf die Probleme mit der traditionellen Terraindarstellung
Jones (1989)	• Voxel basierte Datenstruktur • Noch keine konkreten Intensionen für räumliches Modellieren • Nützlich im Bereich von soliden 3D Körper –Rekonstruktionen und einfacher Geometrien • Benötigte sehr viel Speicher und Rechenleistung (für die damalige Zeit)
Carlson (1987)	• Simplicial Complex Model • Darstellung von Objekten durch den Terminus 0-simplex, 1-simplex bis n-simplex • Darstellung von Knoten, Linien, Oberflächen und Volumina
Molenaar (1992)	• Erstes 3D Modell mit Typologien • 3D Formal Vector Data Structure • Darstellung von Punkten, Linien, Oberflächen und Körpern • Boundary representation (B-reps)
Cambray (1993)	• Kombination aus 3D - CAD Modellen und DTM • Kombination aus Constructive Solid Geometry (CSG) und Boundary representation (B-reps)
Kraus (1995), Fritsch und Schmidt (1995, Pilouk (1996)	• Erste Versuche der Integration von 3D Terrain-Objekten in die TIN Datenstruktur
ESRI (1997)	• Erste Version des 3D Analyst unter ArcView 3.X • Erste Editier- und Manipulationsfunktionen von Oberflächenmodellen • Hauptsächlich für Visualisierungen aber keine Analysen möglich
ERDAS (2000)	• Erste Version des Imagine VirtualGIS • Hauptanwendung jedoch die Fernerkundung
Aktuelle Software und Möglichkeiten siehe Tab. 10	

3. 3D Datenerfassung

Je nach Genauigkeitsanspruch und Anforderungen des Modells gibt es unterschiedliche Qualitätsunterschiede bei der Erfassung von 3D Geodaten. Das nachfolgende Kapitel soll einen Überblick über die unterschiedlichen Methoden und Verfahren geben und deren Vor- und Nachteile beurteilen. Nach GÜLCH (2005) (siehe Tab. 12) gibt es grundsätzlich sechs unterschiedliche Erfassungsarten, von denen die ersten drei weiter diskutiert werden.

Tab. 12 Unterschiedliche Erfassungsarten von 3D Geodaten (aus GÜLCH (2005), S. 5 & eigene Bearbeitung)

Erfassungsart	Anmerkung
Automatisierte Extraktion mittels Photogrammetrie von Objekten aus digitalen Bildern oder hochauflösenden Satellitenbildern	• Automatisierte Methode der digitalen Photogrammetrie • Einige wenige kommerzielle Verfahren verfügbar
Anwendung von terrestrischer Photogrammetrie oder terrestrischen Laserscanverfahren	• Nutzung vor allem im Stadtgebiet • Einzelne Objekte werden sehr genau erfasst • Besonders gute Aufnahme von Texturen, Innenhöfen oder sogar Innenräumen • Flächendeckend sehr kostspielig und schwer einsetzbar
Erzeugung digitaler Oberflächenmodelle mittels Laserscanner in Flugzeugen oder Helikoptern	• Geländemodellerfassung vor allem in Waldgebieten • Zur automatisierten Vektorisierung der Gebäude werden Grundrissdaten miteinbezogen
Geodätische Erfassung mittels Tachymeter und/oder GPS	• Hoch präzise Methode • Hoher Arbeitsaufwand • Flächendeckend für 3D Geoobjekte nicht effizient • Dachlandschaften schwer erfassbar
Stereophotogrammetrie in analogen oder digitalen Messbildern – aus Orthophotos oder hochauflösenden Satellitenbildern	• Stereoauswertungsgerät entweder analog, analytisch oder digital • Satellitenbilddaten (z.B.: Quickbird2 – Bodenpixelgröße 60 Zentimeter) → höhere Flächenabdeckung • Orthophotos → höhere Genauigkeit
Mobile Datenerfassungssysteme auf Fahrzeugen	• Mit GPS ausgestattete Systeme • Ausgerüstet mit digitalen Kameras oder terrestrischem Laserscanner • Dokumentation von Straßenmobiliar oder Fassaden • Nicht geeignet zur Erfassung von Dachlandschaften

3.1. Digitale Photogrammetrie

Unter Photogrammetrie wird ein Verfahren bezeichnet, welches Objekte verortet und deren Formen beschreibt. Dabei werden die Geoobjekte nicht im Gelände aufgezeichnet, sondern indirekt über das Auswerten von Bildmaterial. Die Photogrammetrie wird zu den geodätischen Messverfahren gezählt und findet Anwendung meist dann, wenn der Nutzer nicht einen kleinen Teil der Oberfläche aufnehmen möchte, sondern gleich größere Landstriche oder große Punktmengen. Als Hauptanwendungsgebiet kann die Aufzeichnung der Topographie und daraus abgeleitete Karten bzw. Rohdaten für GISe gesehen werden. Somit kann man die Photogrammetrie zu einem zentralen Auswerteverfahren bei der Gewinnung von Geobasisdaten zählen (nach RINNER (1972)).

TORLEGARD (1995) definiert den Begriff Photogrammetrie folgendermaßen:

„Die Kunst, Wissenschaft und Technik zuverlässige geometrische und thematische Informationen über die Erde zu erhalten, durch Erfassung, Messung und Interpretation von abbildenden Sensoren“

Die Photogrammetrie ist dabei traditionell auf die Erfassung geometrischer Information ausgerichtet, die Fernerkundung auf die Gewinnung thematischer Information. Diese frühere eher klare Trennung verwischt zusehends angesichts von Satellitenphotogrammetrie oder Klassifizierungsverfahren aus der Fernerkundung für digitale Luftbildaufnahmen. Es werden die Lage und Form von Objekten geometrisch erfasst. Die Ergebnisse einer photogrammetrischen Auswertung sind dreidimensionale Koordinaten von Objektpunkten, geometrische Modelle, wie Gebäudemodelle oder Höhenmodelle, Karten und Pläne, sowie entzerrte Luftbilder (Orthophotos) und daraus hergestellte Luftbildkarten. Die Photogrammetrie ist weltweit eingeführt und wird in der täglichen Praxis zur Erfassung räumlicher Daten eingesetzt. Als Datenquelle dienen Luftbilder oder terrestrische Aufnahmen, meist in Form von Stereobildpaaren.

Die Photogrammetrie wird für unterschiedlichste Anwendungsbereiche genutzt. Dazu zählen unter anderem die 3D Modellierung, Herstellung von Digital Surface bzw. Terrainmodels (DSM bzw. DTM), Bewegungsanalysen, Videogrammetrie etc. Die photogrammetrischen Aufnahmen, als Teil der Fernerkundung, können prinzipiell in sechs Teilbereiche unterteilt werden (aus HANUSCH, BALTASAVIA & EISENBEISS (2010)):

- I. *„Terrestrische Photogrammetrie*
- II. *Luftbildphotogrammetrie*
- III. *Satellitenphotogrammetrie*
- IV. *Einzelbildauswertung*
- V. *Stereophotogrammetrie*
- VI. *Mehrfachbild Verfahren“*

Das Verfahren hinter der Photogrammetrie ist die Aufnahme von Stereophotos. Das heißt von ein und demselben Ausschnitt der Erdoberfläche werden zwei Aufnahmen gemacht (siehe Abb. 12), aus welchen anschließend durch Auswertegeräte die Höhe bestimmt wird.

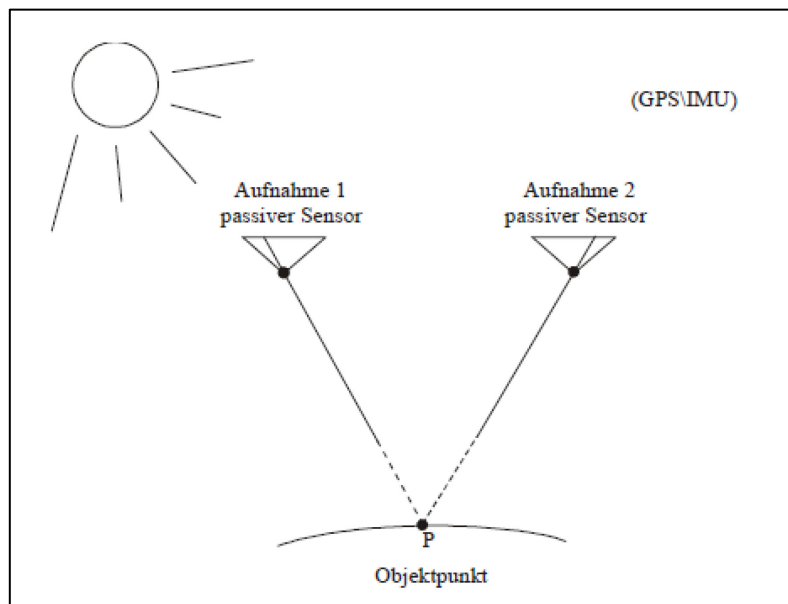


Abb. 12 Grundprinzip der Stereophotogrammetrie (aus ATTWENGER & BRIESE (2012))

Bei photogrammetrischen Aufnahmen werden mit Hilfe von so genannten Passpunkten die gemessenen Punkte in ein Landeskoordinatensystem transformiert. Die einzelnen aufgenommenen Luftbilder werden dann zudem mit Hilfe von homologen Punkten (anders als beim ALS (Airborn Laserscanning) wo ein GPS bzw. dGPS und eine IMU vorhanden sind) zueinander in Beziehung gebracht.

Die Vor- und Nachteile der Photogrammetrie nach RINNER (1972) sind in Tab. 13 dargestellt.

Tab. 13 Vor- und Nachteile der Photogrammetrie (aus RINNER (1972))

Vorteile	• Berührungsloses Messen (Objekt kann unzugänglich sein) • Schnell und vollständige Datenerfassung • Indirektes Messverfahren (Auswertung von Bildern) • Genauigkeit der Zielsetzung anpassbar • Dynamische Prozesse können messtechnisch festgehalten werden • Bild ist Informationsspeicher großer Dichte
Nachteile	• Großer Speicherbedarf bei Aufnahme und Auswertung • Auswertung durch geschultes Personal (sehr aufwändig) • Teure Investition in das Material (Hard- und Software) • Objekte müssen abbildbar sein (Probleme beispielsweise bei Gletschervermessungen, Bäumen etc.) • Falsche Einstellungen der Aufnahme erst bei Entwicklung sichtbar

Mit Hilfe von automatisierten Verfahren (Aerotriangulation) ist es möglich digitale Geländemodelle für kleine und mittlere Bildmaßstäbe zu generieren. Beim Messen werden dabei dreidimensionale Punktdaten erzeugt. Jedoch ist das erstellte digitale Geländemodell ein zweieinhalbdimensionales, da die Höheninformation eine Funktion der Lagekoordinaten ist. Für die komplette 3D Erfassung von einzelnen topographischen Geoobjekten wird die klassische Stereophotogrammetrie an digitalen Stationen durchgeführt (nach GÜLCH (2005), S.10).

Beim Vorhandensein von optimalem Bildmaterial und anderen guten Bedingungen, können vollautomatisierte Forschungsalgorithmen sehr gute Ergebnisse erzielen. Prinzipiell lassen sich nach GÜLCH (2005) folgende Trends bei der Aufnahme durch photogrammetrische Verfahren erkennen:

- *„Maximal mögliche Automation der Objektextraktionen ohne Interaktionen des Nutzers, gefolgt von einem (aufwändigen) Editierprozess um die Ergebnisse zu verifizieren und zu korrigieren.“*
- *Alternativ wird der Nutzer während der Messphase durch automatische Module unterstützt.*
- *Es werden Stereo- und vor allem Mehrbildaufnahmen verwendet oder digitale Oberflächenmodelle aus Laserscanning oder digitaler Bildzuordnung. Neuerdings wird bei der automatisierten Objektextraktion versucht, die Vorteile beider Datenquellen auszunutzen.“*

3D Geodaten aus der photogrammetrischen Erfassung beschreiben künstliche oder natürliche Objekte in einem definierten Koordinatensystem. Die Objektinformation kann dabei sehr unterschiedlich sein (aus GÜLCH (2005), S.11):

- *„Geometrische Information (räumliche Lage und Form von Objekten)*
- *Physikalische Information (reflektierte elektromagnetische Strahlung)*
- *Semantische Information (Bedeutungsinhalt)*
- *Temporale Information (zeitliche Veränderungen)“*

3.2. Terrestrisches Laserscanning (TLS)

Terrestrisches Laserscanning ist analog zum ALS eine automatische Messtechnologie, welche jedoch am Boden gebunden Objekte vermisst. Das Ergebnis einer Aufnahme beim Laserscanning ist eine Punktwolke, welche das aufzunehmende Objekt beschreibt. Der Anwender hat durch unterschiedliche Einstellungen die Möglichkeit die Anzahl der Messpunkte zu bestimmen, was eine Auswirkung auf den Detailierungsgrad der Aufnahme hat. Laserscanning kann als ablösende Messtechnik zu den traditionellen Messtechniken wie Tachymetrie oder Nivellement gesehen werden. Nach nur wenigen Minuten entsteht so eine 1:1 Kopie der geometrischen Objektoberfläche, die zu vielerlei Produkten weiterverarbeitet werden kann (nach KERN (2007) & INGENSAND & SCHULZ (2005)).

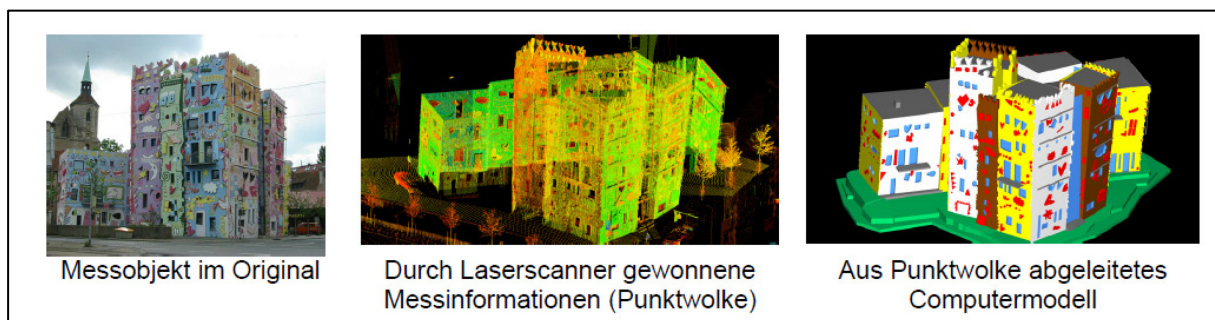


Abb. 13 Der Weg von der Realität zum virtuellen Abbild (aus KERN (2007))

Laserscanner arbeiten prinzipiell alle nach dem gleichen Prinzip: ein Laser sendet ein gebündeltes, monochromatisches, kohärentes Lichtsignal aus, welches an einer Objektoberfläche gestreut und reflektiert wird. Das reflektierte Signal wird von einer Photodiode des Scanners registriert. Aus der Laufzeit multipliziert mit annähernder Lichtgeschwindigkeit ergibt sich die doppelte Entfernung zum Objekt (nach RIEDL, RIEDL, MITTERMAIER (2012)). In Abb. 14 ist das Prinzip vereinfacht dargestellt.

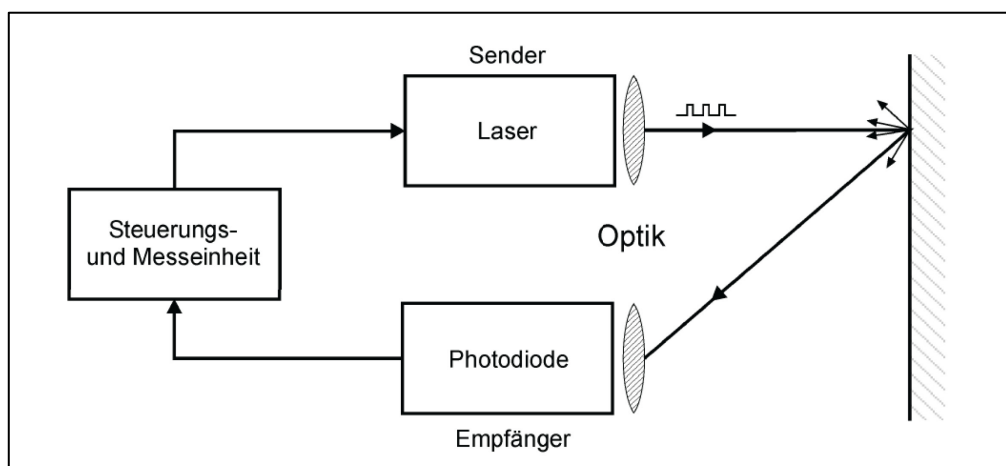


Abb. 14 Vereinfachtes Prinzip des Laserscannings (aus RIEDL, RIEDL, MITTERMAIER (2012))

Ein großer Vorteil des terrestrischen Laserscannings liegt in der berührungslosen Vermessung. Das Objekt selbst muss dabei keinen besonderen Vorbereitungen unterzogen werden, sondern kann aus einer gewissen Distanz, nach dem Einstellen unterschiedlicher Parameter, ähnlich einer Photokamera, aufgezeichnet werden. Das Ergebnis ist eine Liste von Millionen von 3D- Punkten, welche das Objekt in Summe im Maßstab 1:1 repräsentieren. Der Vorteil der Laserscanner-Technologie gegenüber der Photogrammetrie, liegt laut KERN (2007) darin, dass das Messobjekt nicht lediglich auf eine zweidimensionale Bildmatrix verkleinert abgebildet wurde und zur Rückgewinnung der dritten Raumdimension aufwendige Verknüpfungen aus mehreren Bildern, verschiedener Standpunkte erforderlich sind, sondern, dass die Information nach der Aufnahme sofort in drei-dimensionaler Form vorliegt.

Weitere Vorteile des Laserscanningverfahrens liegen in seiner Objektivität, Schnelligkeit, Vollständigkeit, hohen Präzision, Unabhängigkeit von Umweltbedingungen, hohen Reichweite und Integrierbarkeit. KERN (2007) listet einige Besonderheiten auf, welche für das terrestrische Laserscanning sprechen (siehe Tab. 14).

Tab. 14 Besonderheiten des terrestrischen Laserscannings (aus KERN (2007))

Objektivität	• Vollautomatischer Messprozess → objektive Dokumentation
Schnelligkeit	• Messgeschwindigkeit über 1000 Messpunkte pro Sekunde • Erfassung einer hochkomplexen Objektgeometrie gegeben
Vollständigkeit	• Zwar nur einzelne Messpunkte (Diskretisierung) • Hohe Objektauflösung / Detaillierungsgrad führen nahezu zur Vollständigkeit • Oft mehrere Scans von unterschiedlichen Standorten aufgrund von Hinterschneidungen notwendig (Standortreferenzieren unabdingbar)
Hohe Präzision	• Trotz schneller Messung → Genauigkeit 2-5 Millimeter • Bei approximierten Normgeometrien → Genauigkeit bis zu 1 Millimeter • Genauigkeitsbegrenzende Variablen: Definitionsunschärfe und natürliche Objektoberfläche
Unabhängigkeit von Umweltbedingungen	• Aktives Messverfahren → Aussenden eines gleichbleibend hellen Laserstrahles • Unabhängig von Lichtverhältnissen und auch in absoluter Dunkelheit einsetzbar
Hohe Reichweite	• moderne Laserscannsysteme → Reichweite > 100 Meter • spezielle Laserscannsysteme (für bestimmte Fragestellungen) → Reichweite > 1000 Meter
Integrierbarkeit	• gute Integration in vorhandene Auswerteprozesse • hohe Datenmenge fordert unter Umständen die Anwendung von Spezialsoftware

Trotz der oben genannten Vorteile dieses Aufnahmeverfahrens, bestehen doch einige Limitierungen, welche sowohl die Aufnahme als auch die Nachbearbeitung betreffen (siehe Tab. 15). Laserscanner welche sich zurzeit am Markt befinden messen die Entfernung nach zwei unterschiedlichen Verfahren (siehe Tab. 16). In Abb. 15 ist ein terrestrischer Laserscanner abgebildet

Tab. 15 Grenzen des terrestrischen Laserscannings (aus KERN (2007))

Stabiler Gerätestandpunkt	• ein stabiler und sich nicht bewogender Standpunkt ist Voraussetzung
Diffus reflektierende Objekte	• Reflexionseigenschaften des Messobjektes müssen gut sein • Diffuse Reflexion als bestes Ergebnis • Dunkle und spiegelnde Oberflächen weniger gut geeignet
Keine multispektralen Farbinformationen	• keine Information über Oberflächenfarbe möglich • Lediglich Remission (schmalbandige Information) gibt geringen Aufschluss über Textur • Digitalkamera als Ausweg zum Aufzeichnen von Texturen
Nachbearbeitung	• unstrukturierte Punktwolke vorhanden → Manuelle Nachbearbeitung unabdingbar • Teil oder gesamte Punktwolke muss in Idealgeometrie umgerechnet werden

Tab. 16 Unterschiedliche Verfahren der Entfernungsmessung (aus KERN (2007))

Impulslaufzeit	• Kurzzeitiges Aussenden eines Lichtimpuls • Zeitliche Differenz zwischen Aussenden und Empfangen ermöglicht die Berechnung der Distanz • Entfernungen bis 1000 Meter möglich • Relativ ungenau im Vergleich zur Phasenlaufzeit
Phasenlaufzeit	• Kontinuierliches Aussenden eines modulierten Laserlichts • Permanente Bestimmung der Phasenlage der Modulationswelle des reflektierten Lichtes • Extrem schnelles Verfahren • Entfernungen bis max. 100 Meter möglich • Sehr genaue Ergebnisse



Abb. 15 Hybrides terrestrisches Laserscanning-System (aus RIEDL, RIEDL, MITTERMAIER (2012))

3.3. Airborne Laserscanning (ALS – LiDAR)

Unter Airborne Laserscanning (ALS) wird eine flugzeuggestützte Abtastung der Erdoberfläche mittels Laserstrahl verstanden. Das hierbei zur Anwendung kommende Aufnahmeverfahren ist ein aktives, optomechanisches und liefert wie auch die terrestrische Version eine dreidimensionale Punktwolke. Eine andere Bezeichnung für ALS ist LiDAR (Light Detection and Ranging) in Anlehnung an RADAR (nach AUBRECHT, CHLAUPEK, STEINOCHER (2009)). LUNG CHEUK & YUAN (2009) definieren LiDAR in ihrem Artikel "Assessing Spatial Uncertainty of Lidar-derived Building Model: A Case Study in Downtown Oklahoma City" wie folgt:

„Light Detection and Ranging (LiDAR) technology, also known as Laser Altimetry or Airborne Laser scanner, enables costeffective rapid production of digital models that capture topography and vertical structures of surface features at a fine spatial resolution. The capability has promoted lidar applications for mapping terrain, buildings, forest stands, and coastal features that cannot be adequately captured by other remote sensing means over a large area“

Mit Hilfe einer Laufzeitmessung von Laserimpulsen, wird die Länge des Weges zwischen dem Laserscanner und dem detektierten Objekt bestimmt. Dabei nutzt das Verfahren die Reflexion der Oberfläche und registriert die zurückgeworfenen Impulse. Da die aktuelle Lage des Laserscanners, aufgrund des eingesetzten GPS und einer IMU, immer vorhanden ist, kann man die dreidimensionale Position des detektierten Punktes bestimmen (nach BÖHLER (2005), S.458 f.).

„Die Bestimmung von Strecken durch Laufzeitmessungen von Lichtimpulsen erfolgt durch die gemeinsame Registrierung des ausgesendeten Laserstrahls und des von der Oberfläche reflektierten und wieder empfangenen Anteils dieses Strahls. Dabei wird für jede so gemessene Entfernung der Horizontal- und Vertikalwinkel des zugehörigen Laserstrahls gemessen und registriert. Aus diesen polaren Größen können direkt orthogonale 3D Koordinaten berechnet werden, wobei die Position des Laserscanners den Ursprung des zugrunde liegenden lokalen Koordinatensystems definiert.“ (aus HAALA (2005), S.27).

Die Vorteile gegenüber der photogrammetrischen Geländeaufnahme liegen in der höheren Punktdichte, an der Witterungsunabhängigkeit (aktives Messverfahren), an der prinzipiell besseren Höhengenaugkeit, der Möglichkeit der Durchdringung der Vegetation und der gleichmäßigen und großflächigen Punkterfassung (nach AUBRECHT, CHLAUPEK, STEINOCHER (2009)).

Aufgrund der permanenten Bewegung und der Höhenunterschiede während des Fluges, muss die Position und Orientierung des Laserscanners synchron zur Streckenmessung mittels eines integrierten GPS/INS-Systems bestimmt werden. In einem nächsten Schritt müssen dann die detektierten Oberflächenpunkte in ein übergeordnetes Geländekoordinatensystem gebracht werden. Die hierbei durchgeführte Verortung führt jedoch auch zu einem Verlust der Genauigkeit der aufgenommenen Punktwolke. Dabei können Differenzen zwischen 10

und 20 Zentimeter sowohl in Lage als auch Höhe entstehen (nach HAALA (2005), S.28) Eine ALS Einheit besteht prinzipiell aus drei unabdingbaren Komponenten (siehe Tab. 17).

Tab. 17 Komponenten einer ALS Einheit (aus AUBRECHT, CHLAUPEK, STEINOCHER (2009))

Positionierungssystem (DGPS-Komponente)	• DGPS: Differenzielles GPS • GPS Empfänger im Flugzeug + GPS Referenzstation in der Nähe des Aufnahmegebietes) • Positionsbestimmung des Flugzeugs mittels Phasen-Differenzmessung → höhere Punktgenauigkeit ($\pm 5 - 10$ Zentimeter) • Post Processing → Störung der Satellitensignale anhand der GPS Referenzdaten korrigiert → 3D Koordinaten des Flugzeugs
Orientierungssystem (IMU-Komponente)	• IMU: Intertial Measurment Unit (Trägheits-Navigationssystem) • Bestimmung der Orientierung des Flugzeugs durch Messung der Beschleunigungsmomente (Genauigkeit $\pm 5-30$ Zentimeter) • Rekonstruktion der Flugbahn → Punktverdichtung entlang der Flugbahn (Lücken zwischen GPS-Messungen schließen)
Laserscannerkomponente	• Sendeeinheit: Aussendung des Laserstrahls impulsförmig oder sinusförmig • Ablenkungseinheit: lenkt den Laserstrahl quer zur Flugrichtung ab → flächenhafte Aufnahmen • Laserstrahl wird an der Erdoberfläche gestreut → reflektierte Signale in Empfangseinheit (Photodiode) registriert

Prinzipiell können als Aufnahmemittel auf welcher sich die ALS - Einheit befindet, sowohl Flugzeuge, Helikopter oder Satelliten verwendet werden. In Abb. 16 ist schematisch die Befliegung durch ein Flugzeug und die einzelnen Komponenten der ALS Einheit dargestellt.

Bei Flugzeuggetragenen Systemen werden laut HAALA (2005) zur Streckenmessung in der Regel optisch gepulste Laser mit circa 10 Nanosekunden kurzen Pulsen mittlerer oder hoher Energie sowie eine Strahldivergenz in der Größenordnung von 1 Milliradian verwendet. Der Laser arbeitete dabei in einem Frequenzbereich von 500 – 1500 Nanometer (Standard: 1040 – 1060 Nanometer). RIEDL, RIEDL und MITTERMAIER (2012) führen an, dass das zu erfassende Gebiet meist in einer relativ geringen Flughöhe von rund 1000 Meter überflogen wird. Um das Untersuchungsgebiet möglichst kostensparend zu erfassen, wird der Laserstrahl mit Hilfe eines rotierenden Spiegels abgelenkt. Das Resultat aus dieser Bewegung quer zur Flugrichtung ist ein sinusförmiges Abtastmuster (nach HAALA (2005), S.27).

Bei den meisten flugzeuggestützten Laserscanningaufnahmen kann somit eine Dichte der Messpunkte von rund einem Punkt pro Quadratmeter erzielt werden. Durch eine Erhöhung der Flughöhe und einen größeren Winkel bei der Ablenkung des Laserstrahls kann eine größere Fläche bei zugleich niedriger Punktdichte erzeugt werden und umgekehrt (nach HAALA (2005), S.28).

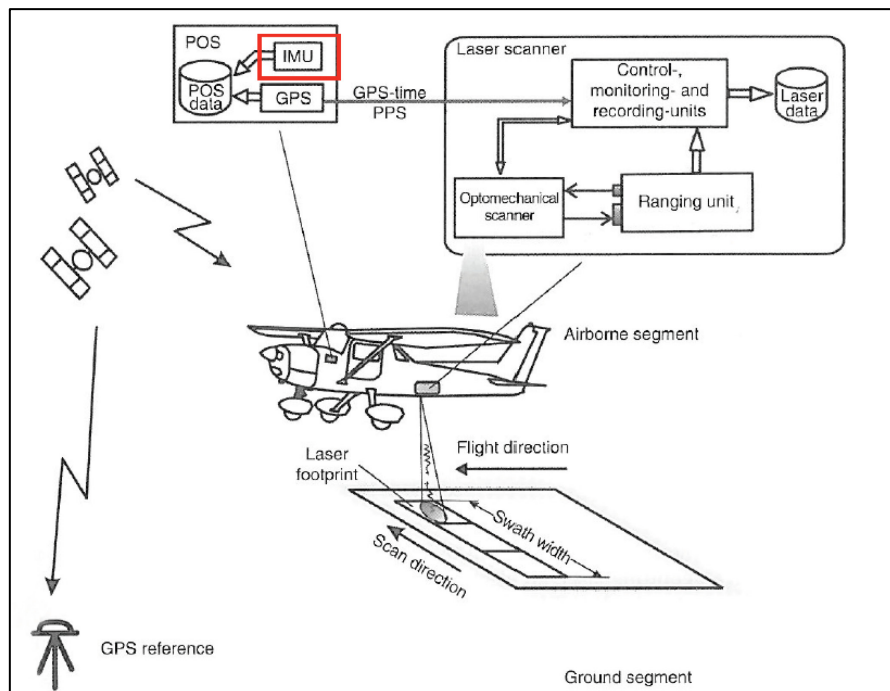


Abb. 16 Komponenten einer Flugzeuggestützten ALS - Einheit (aus WEHR & DUZELOVIC (2009))

Ein weiterer Vorteil bei der Aufnahme durch Laserimpulse stellt die Datenerfassung im Bereich der Vegetation dar. Da die Laserstrahlen zunächst beim Durchdringen der Baumkronen zum Teil an den Blättern und Ästen und im Anschluss von der Bodenoberfläche reflektiert werden, kann man zwischen einem First und einem Last Respond unterscheiden. Somit kann man die Vegetation relativ gut aus den Daten ableiten (siehe Abb. 17).

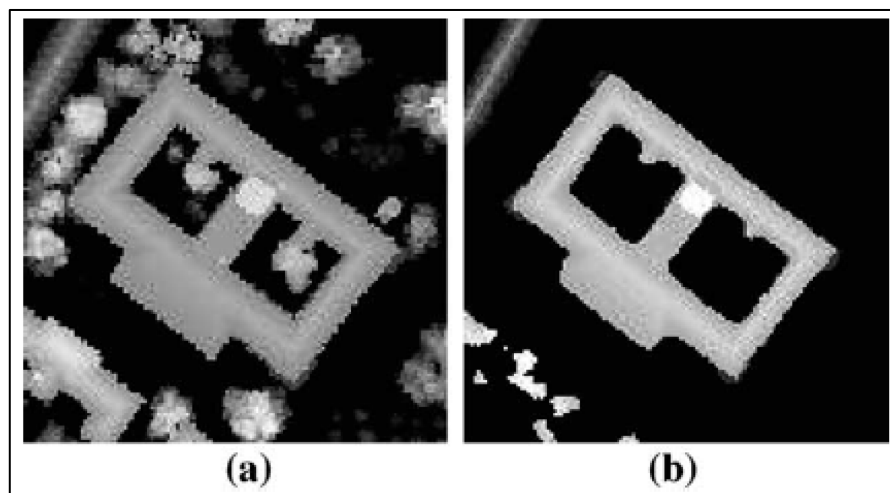


Abb. 17 First Respond mit Vegetation (a) - Last Respond ohne Vegetation (b) (aus SOERGEL et al. (2004), S. 305)

Die unterschiedlichen Trägersysteme (Satellit, Flugzeug, Hubschrauber) liefern unterschiedliche Genauigkeiten und Qualitäten. Neben den bereits besprochenen photogrammetrischen Verfahren und eben dem Laserscanning stellt das Interferometrische SAR (IfSAR), welches ebenfalls ein aktives Verfahren ist, eine Alternative dar. In Abb. 18 werden die drei genannten Verfahren auf unterschiedlichen Trägersystemen nach Höhengenaugigkeit (Meter) und Preis (US\$ / Quadratkilometer) dargestellt.

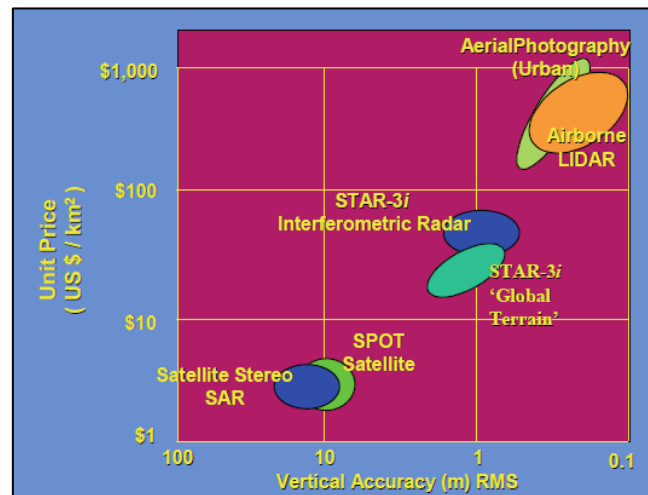


Abb. 18 Kosten und Qualität von Höhendaten für verschiedene Erfassungsmethoden (aus MERCER (2001), S.232)

Neben der Generierung von Digitalen Gelände- bzw. Oberflächenmodellen können außerdem auch, im Stadtbereich, Oberflächenformen von Gebäuden mittels Modellierungsalgorithmen extrahiert werden (siehe Kapitel 5).

Obwohl LiDAR Daten eine hohe Genauigkeit und Auflösung aufweisen, muss an dieser Stelle jedoch auch auf die Unsicherheiten dieser Messmethode eingegangen werden. Besonders in Regionen mit einem komplexen Terrain kann es zu signifikanten räumlichen Fehlern kommen. CHEUK & YUAN (2009) führen beispielsweise bei ihren Untersuchungen in Downtown Oklahoma City an, dass vor allem komplexe Gebäudestrukturen, Materialien von Gebäuden, welche eine hohe Reflexion aufweisen und Vegetation, welche in der Nähe der Gebäude wächst bzw. dies überwächst, eine automatisierte Detektion von Gebäuden fast unmöglich machen und hier immer ein semiautomatisierter Ansatz eingesetzt werden muss (siehe Abb. 19). So können Abweichungen bei der Aufnahme oft 10 Meter und mehr betragen. Um diese Fehler jedoch so gering wie möglich zu halten, führen die Autoren unterschiedliche Möglichkeiten an, welche eine Verbesserung bei der Analyse und bei der Aufnahme bewirken können (aus CHEUK & YUAN (2009), S.264):

- „eine ausführliche Flugplanung
- adaptierte Algorithmen bei der Gebäudegrundrissdetektion
- Validierung durch andere digitale Daten
- Validierungen durch Begehungen vor Ort“

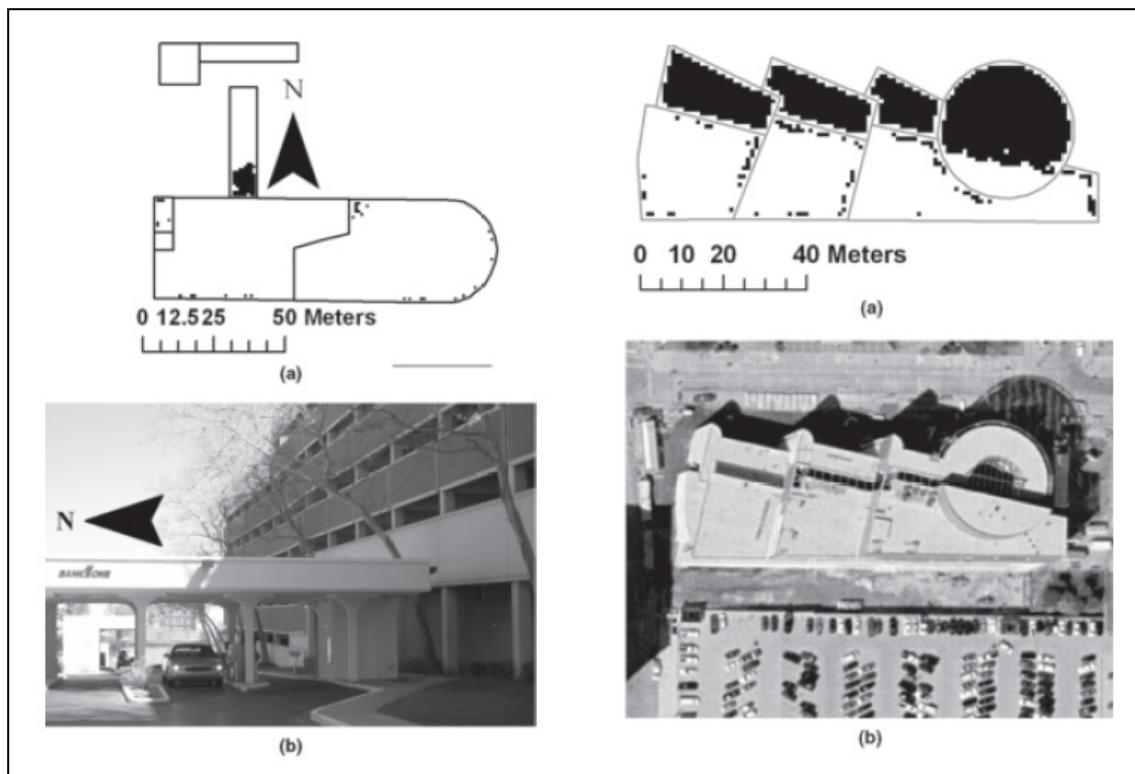


Abb. 19 Unterschiedliche Fehlerquellen bei ALS Aufnahmen (links: Beeinflussung durch überhängende Vegetation; rechts: komplexe Gebäudestrukturen (aus CHEUK & YUAN (2009), S. 265)

4. Datenformate und Modelle in der 3D GIS Welt

Wie bereits in den anderen Kapiteln dargestellt, ist die uns bekannte Welt keine zweidimensionale sondern erstreckt sich in drei Dimensionen. Aus diesem Grund müssen die erfassten Daten, für weitere Analysen in bestimmten Formaten vorliegen bzw. gewisse Standards erfüllen.

„In Abhängigkeit von Einsatzgebiet und Hersteller haben sich dabei verschiedene 3D Datenformate etabliert. Die Analyse von Daten spielt bei GIS Anwendungen die zentrale Rolle. Insofern werden die Ansprüche an das Dateiformat in erster Linie von Analysemöglichkeiten und nicht von der Visualisierung bestimmt. Bei der Visualisierung der Analyseergebnisse stellt sich die Frage nach dem Dateiformat jedoch erneut. Hier reicht meist die Entscheidung, ob ein raster- oder vektorbasiertes Format gewählt werden soll.“ (nach FREIWALD & JANY (2005), S.142)

Das nachfolgende Kapitel geht daher zunächst auf die Normen und Standards von 3D Geodaten ein. Danach werden digitale Oberflächenmodelle und unterschiedliche vektor- und rasterbasierte Datenformate aus der 3D GIS Welt erläutert.

4.1. Standards für 3D Geodaten

Innerhalb der Geowissenschaften und innerhalb von Nachbardisziplinen, welche sich mit raumbezogenen Daten beschäftigen, sind Geodaten der Träger der Grundlageninformation und in weiterer Folge von modellierten Ergebnissen. Um gewährleisten zu können, dass diese Daten von unterschiedlichen Softwareprodukten und Betriebssystemen gelesen und weiter verarbeitet werden können, müssen Geodaten entsprechende Normen erfüllen und Standards müssen definiert werden. GRÖGER & KOLBE (2005a) schreiben in diesem Zusammenhang, dass die Daten, damit sie system-, gebiets- und anbieterübergreifend verwendet werden können, interoperabel sein müssen. Erläuternd führen die Autoren an, dass Geodaten daher inhaltlich verlustfrei ausgetauscht und von verschiedenen Systemen und Nutzern auf gleiche Weise interpretiert werden müssen. Um in der 3D GIS Welt einwandfrei Nachbarschaftsbeziehungen und Eigenschaften von Geoobjekten definieren und vor allem Modellierungen durchführen zu können, reichen die bestehenden Standards aus der Virtual Reality Welt (VRML Virtual Reality Modeling Language) oder aus der 3D CAD Welt (Computer Aided Design) nicht aus (nach GRÖGER & KOLBE (2005a)).

Daher entschloss man sich für die 3D Geodatenverarbeitung in der GIS Welt ebenfalls Spezifikationen und Normen einzuführen. Die beiden Organisationen, welche sich damit beschäftigten, waren die seit 1994 für Normen zuständige ISO (International Organization for Standardization) mit ihrem TC 211 (Technical Committee 211) und das OGC (Open GIS Consortium). Gemeinsam wurde 1998 die TC 211 – OGC Coordination Group (TOCG) gegründet, welche das Ziel hat künftige Standards und Normen in der 3D GIS Welt zu

definieren (nach GRÖGER & KOLBE (2005a), S.56). Im folgenden Kapitel werden die unterschiedlichen Spezifikationen der Standards erläutert.

In der Geoinformation wird anstelle des Begriffes „Objekt“ entweder „Geoobjekt“ oder üblicher „Feature“ verwendet (GF_Feature). Ein Feature stellt somit ein bestimmtes Objekt der realen Welt dar und bildet die unterste hierarchische Ebene. Nach GRÖGER & KOLBE (2005a) ist ein Feature eine Abstraktion eines für eine Anwendung relevanten Realweltobjektes (z.B.: eines Gebäudes), für welches zur Beschreibung alle Möglichkeiten der objektorientierten Modellierung zur Verfügung stehen. Die nächsthöhere Ebene bildet die Feature-Klasse (GF_FeatureClass), in welchem unterschiedliche Features integriert sind. Durch die Angabe von Generalisierungsbeziehungen zwischen mehreren unterschiedlichen Feature-Klassen wird bestimmt, welche Feature-Klasse mehr und welche weniger Generalisierung aufweist.

„Die Spezifikation des Raumbezuges von Features durch geometrische Konzepte, denen Koordinaten zugrunde liegen, erfolgt durch Unterklassen der Klasse GM_Object. Den Unterklassen wiederum sind weitere Unterklassen, welche das Objekt näher beschreiben, zugewiesen.“ (aus GRÖGER & KOLBE (2005a), S.57)

In Abb. 20 ist ein Überblick über die Taxonomie und Struktur der Geometrie eines 3D Objektes in Form eines UML-Klassendiagramms gegeben.

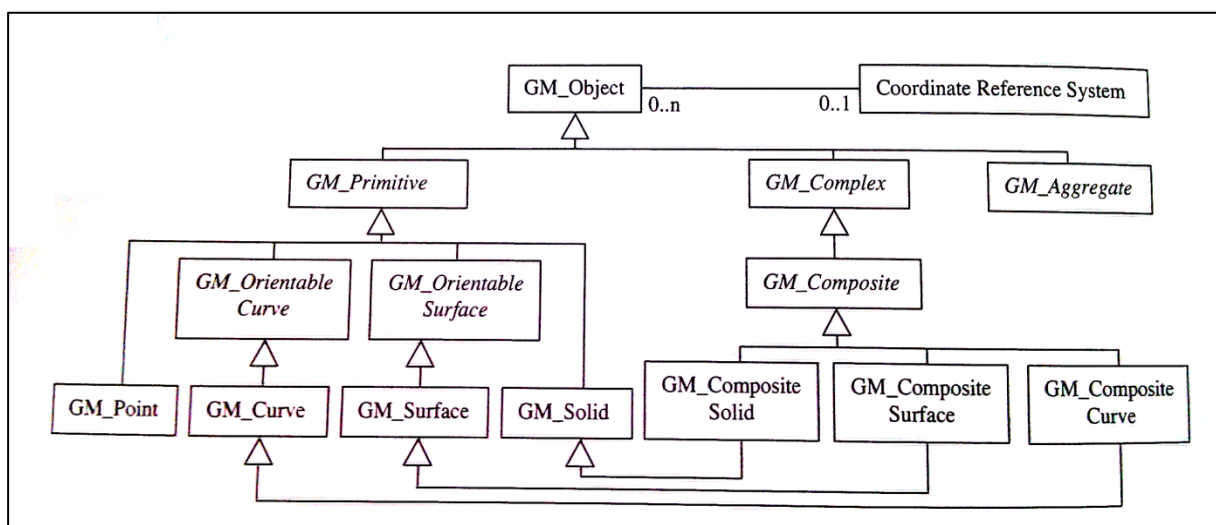


Abb. 20 UML – Klassendiagramm der Taxonomie und Struktur der Geometrie eines 3D Objektes (aus BOOCH et al. (1997))

Die von der ISO und dem Open GIS Consortium beschlossenen Normen und Standards sind für die Beschreibung, Analyse und Modellierung essenzielle und gewährleisten eine notwendige Interoperabilität. Für geowissenschaftliche Fragestellungen ist es so möglich unterschiedliche 3D Datenmodelle wie Digitale Geländemodelle von TINs oder Grids, Raum und zeitliche Feldmodelle, dreidimensionale Boundary Representations oder 3D Tetraedernetze abzubilden (nach GRÖGER & KOLBE (2005a), S.68).

Geometrische Eigenschaften können entweder durch ein Primitiv der Dimension 0 bis 3, oder durch zusammengesetzte Objekte wie Komplexe, Verbunde oder Aggregate spezifiziert werden. In Tab. 18 sind diese geometrischen Eigenschaften zusammengefasst.

Tab. 18 Geometrische Eigenschaften von Features (aus GRÖGER & KOLBE (2005a), S.59 f. & eigene Bearbeitung)

Primitive (GM_Primitive)	• Kleinste eigenständige geometrische Einheit: ○ 0 – dimensionale Primitiv: Punkt (GM_Point) ○ 1 – dimensionale Primitiv: Kurve (GM_Curve) ○ 2 – dimensionale Primitiv: Oberfläche (GM_Surface) ○ 3 – dimensionale Primitiv: Volumenkörper (GM_Solid) • Orientierte Primitive: ○ Bei Kurven: einen Anfangs- und einen Endpunkt ○ Bei Oberflächen: zwei unterscheidbare Seiten • Kurven bestehen aus Kurvensegmenten, welche folgende Segmenttypen besitzen können: ○ Linienzüge (GM_LineSegment) ○ Kreisbögen (GM_Arc) ○ Kreise (GM_Circle) ○ Klothoiden (GM_Clothoid) ○ Splines (z.B.: GM_SplineCurve oder Bezierkurven) • Oberflächen bestehen aus zusammenhängenden Flächen, welche Aussparungen haben können. Unterschiedliche Interpolationsarten können unter anderem folgende Oberflächen erzeugen: ○ Planares Polygon (GM_Polygon) ○ Kegelflächen (GM_Cone) ○ Kugelflächen (GM_Sphere) ○ Zylinderflächen (GM_Cylinder) ○ Splineflächen (GM_BplineSurface) ○ Falls Aussparung vorhanden (GM_Ring) ○ Unregelmäßige Dreiecksvermaschungen (GM_Tin) Abb. 21 Beispiel einer polygonalen Oberfläche bestehend aus drei Patches (GM_Polygon) (aus GRÖGER & KOLBE (2005a), S.59) • Volumenhafte Features können folgende unterschiedliche Typen sein: ○ Dreidimensionale Volumenkörper (GM_Solid) ○ Durch Angabe der den Volumenkörper begrenzenden Oberflächen (GM_SolidBoundary) ○ Durch Angabe unterschiedlicher innerer Schalen (GM_Shell)
-------------------------------------	--

	Abb. 22 Beispiel eines Volumenkörper mit einer äußeren und inneren Schale (GM_Shell) (aus GRÖGER & KOLBE (2005a), S.59) • Volumenhafte Alternative Darstellungen (z.B.: Rotationskörper in CAD Programmen) werden im Spatial Schema nicht unterstützt
Aggregate (GM_Aggregate)	• Einfachste Möglichkeit um geometrische Primitive zu größeren Einheiten zusammenzufassen • Sollen nur bestimmte Dimensionen im Aggregat vorhanden sein ergeben sich folgende Aggregattypen: ○ Punkte: GM_MultiPoint ○ Linien, Kurven: GM_MultiCurve ○ Oberflächen: GM_MultiSurface ○ Volumina: GM_MultiSolid • Möglichkeit der Rekursivität → Ein Aggregat kann Teil eines anderen Aggregats sein
Komplexe (GM_Complex)	• Zusammenfassung von Primitive in strukturierter Form • Möglichkeit der Rekursivität → Ein Aggregat kann Teil eines anderen Aggregats sein • Regeln: ○ Primitive innerhalb des Komplexes dürfen sich nicht berühren oder schneiden ○ Falls eine Berührung oder eine Verschneidung vorliegt müssen die Schnittflächen als Primitive existieren • Regeln wichtig da in der GIS Welt das Prinzip der Disjunktheit eingehalten werden muss (z.B.: Flurflächenabgrenzung)
Verbunde (GM_Composite)	• Spezielle Form von Komplexe • Als Punktmenge betrachtet → isomorph ein Primitiva • Bsp.: ein Haus und ein Garage (zwei primitive Volumenkörper), jedoch nur eine graue Begrenzungsfläche, welche beide Körper begrenzt Abb. 23 Beispiel für einen volumenhaften Verbund der aus zwei Volumenkörper besteht (GM_CompositeSolid) (aus GRÖGER & KOLBE (2005a), S.62)

4.2. Digitale Oberflächenmodelle

Als Digitale Oberflächenmodelle bezeichnet man in der 3D Geoinformation Abbilder der Oberfläche der Erde. Dabei wird die (Höhen-)Information digital – numerisch gespeichert. Die Datengrundlage können zum einen punktuell aufgenommene Daten (z.B.: Laserscanning – siehe Kapitel 3.3) oder zum anderen digitalisierte analoge Produkte in Form von Bruchlinien, Flüssen, Höhenpunkten oder dergleichen sein. LÜCKING (2007) führt an, dass Digitale Modelle seit den 1980er Jahren für viele Fragestellungen in der Geoinformation und anderen Geowissenschaften als Grundlage für weitere Analysen dienen. Dargestellt werden die Modelle entweder als Drahtmodelle oder als Netzmodelle.

Die Modellierung von Oberflächen führt laut WISE (2002) zu zwei Konsequenzen:

1. *„Da sich die Oberfläche der Erde permanent verändert, ist es nicht möglich überall Messungen durchzuführen. Aus diesem Grund sind alle Höhenmessungen, egal wie genau die Auflösung ist, immer nur repräsentative Beispiele der Erdoberfläche.“*
2. *Da nicht die Eigenschaften der einzelnen gemessenen Punkte von Interesse sind, sondern die gesamte Oberfläche als solche, müssen Modelle berechnet werden, welche zwischen den Punkten die Oberfläche interpoliert darstellen.“*

Als Schlussfolgerung dieser zwei Konsequenzen ist es also wichtig Informationen über die Beziehungen zwischen den gemessenen Punkten oder Linien zu speichern. Die beiden gängigsten Möglichkeiten der Speicherung dieser Informationen ist das GRID Modell und das TIN Modell. Diese beiden Modelle werden in den Kapiteln 4.3.1. und 4.3.2. besprochen.

Grundsätzlich gibt es in der wissenschaftlichen Literatur bei der Definition unterschiedlicher Digitaler Oberflächenmodelle keine allgemeingültige Definition der Begriffe „Digitales Höhenmodell“ oder „Digitales Geländemodell“. Nicht nur die Verwendung innerhalb des deutschsprachigen Raums und zwischen unterschiedlichen Wissenschaften ist zum Teil different, auch ist die Verwendung im angloamerikanischen Raum eine andere. Zudem kommt das Problem, dass gleiche Abkürzungen verwendet werden (DSM: im Deutschen - Digitales Situationsmodell, im Englischen – Digital Surface Model) jedoch unterschiedliche Modelle gemeint sind. BILL (2010) definiert die unterschiedlichen Modelle wie folgt:

„Als Digitales Höhenmodell (DHM) bezeichnet man die Menge der digital gespeicherten Höhenwerte, die als Funktion der Lage der Punkte die Höhenstruktur des Objektes hinreichend repräsentieren. Das Digitale Situationsmodell (DSM) umfasst die digitale Speicherung der gemeinhin als Grundriss bezeichneten Information; jedem Grundrisselement ist eine ganz bestimmte Grundrissinformation zugeordnet. Das Digitale Geländemodell (DGM) umfasst inhaltlich sowohl das DHM als auch das DSM, es enthält die digitale Speicherung sämtlicher Informationen über die Geländeoberfläche. In der Literatur finden sich die Begriffe Digitales Höhenmodell (DHM, im Englischen DEM) und Digitales Geländemodell (DGM, im Englischen DTM), die ungefähr gleich häufig und teilweise synonym Gebrauch finden.“

KOHLSTOCK (2010) versteht hingegen unter einem DGM ein Punktfeld mit Lagekoordinaten und Höhen über einer Bezugsfläche, welches eine Geländeoberfläche ohne wesentliche Zusatzinformationen hinreichend genau repräsentiert, bei welchem Bruchkanten im Gelände berücksichtigt werden. Berücksichtigt man diese nicht, so spricht man von einem Digitalen Höhenmodell.

Eine weitere Definition liefert HAALA (2005) welcher synonym unter einem DHM bzw. Digitalem Oberflächenmodell (DOM) eine, (meist) durch Laserscanning, erhobene Geländeoberfläche, einschließlich der darauf befindlichen topographischen Objekte, versteht. Im Gegensatz dazu beschreibt seiner Ausführung nach das Digitale Geländemodell (DGM) nur die Geländeoberfläche ohne topographische Objekte. Da sich Geländepunkte innerhalb dieser Objekte nicht messen lassen, werden sie daher üblicherweise durch Interpolation aus umliegenden Punkten bestimmt. Die Ableitung von DGM in Stadt- und Waldgebieten aus Laserdaten kann dabei durch Einführung einer schiefen und exzentrischen Fehlerverteilung in eine robuste Schätzung erreicht werden.

Da die Daten, welche für diese Arbeit verwendet wurden, nach den englischen Abkürzung betitelt wurden, werden die Modelle auch nach diesen Abkürzungen in den folgenden Kapiteln erläutert. In Tab. 19 und in Abb. 24 sind die Termini erläutert, wie sie in dieser Arbeit verstanden und verwendet werden.

Tab. 19 Erläuterung der unterschiedlichen digitalen Oberflächenmodelle wie sie in dieser Arbeit Verwendung finden (eigene Bearbeitung (2013))

Digital Surface Model - DSM	• Bildet die Erdoberfläche mit allen darauf befindlichen Objekten ab • Zu den Objekten zählen sowohl die Vegetation als auch Gebäude
Digital Terrain Model - DTM	• Bildet die Erdoberfläche ohne die darauf befindlichen Objekte ab. • Diese wurden durch unterschiedlichste Algorithmen entfernt (siehe Kapitel 5.4.1.1)
Digital Building Model - DBM	• Bildet die auf der Erdoberfläche befindlichen Gebäude ab • Generalisiert (je nach Level of Detail) (siehe auch unterschiedliche Stadtmodelle Tab. 6)

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das DHM dem englischen Digital Elevation Model (DEM) entspricht, welches sich aus dem DOM (englisch DSM) und dem DGM (englisch DTM) zusammen setzt.

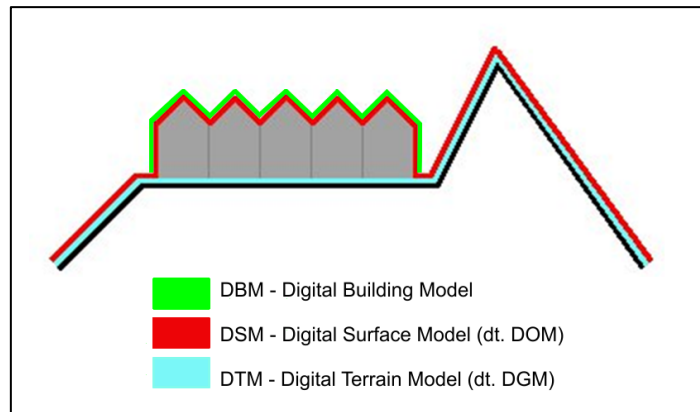


Abb. 24 Schematische Darstellung der digitalen Oberflächenmodelle (aus OVER (2011) & eigene Bearbeitung (2013))

4.3. 3D Datenformate

Die nachfolgenden Kapitel befassen sich mit jenen 3D Datenformaten, welche in dieser Arbeit häufig verwendet wurden und daher Anspruch erheben näher erläutert zu werden.

4.3.1. TIN

Ein Triangulated Irregular Networks (TIN) ist eine von mehreren Möglichkeiten, um dreidimensionale Punktwolken darzustellen und zu analysieren. PEUCKER et al., welche als eine der ersten Entwickler von TINs gesehen werden können, schreiben 1976, dass die Entwicklung von TINs auf die damaligen Probleme mit traditionellen Terraindarstellungen zurückzuführen ist.

Die Oberfläche wird dabei durch unregelmäßige Dreiecke repräsentiert, welche ihrerseits mittels Kanten und Knoten (x,y,z) abgebildet werden (nach RIEDL, RIEDL, MITTERMAIER (2012), S.26). Dieser Vorgang wird als Triangulierung bezeichnet.

„Triangulierung bedeutet, dass aus den gegebenen Punkten Dreiecke gebildet werden. Ist dies bei wenigen Punkten relativ trivial, so nimmt die Anzahl der möglichen Dreiecke mit der Anzahl der Punkte deutlich zu. Deshalb werden an den Triangulierungsalgorithmus bestimmte Bedingungen gestellt. Elementare Bedingung ist, dass eine maximale Anzahl von Dreiecken, deren Seiten sich nicht schneiden, vorhanden ist.“ (aus FREIWALD & JANY (2005), S. 155).

Als statistisches Verfahren zur Berechnung des Dreiecknetzes wird die Triangulation nach DELAUNAY (1934) verwendet. Dabei werden innerhalb einer Punktwolke Dreiecke so gebildet, dass im Umkreis jedes einzelnen Dreieckes kein weiterer Punkt liegen darf. Als bestimmender Parameter wird der kleinste Innenwinkel über alle Dreiecke maximiert (nach LÜCKING (2006)). LÜCKING (2006) weist zudem noch auf den Sonderfall hin, dass es auch sein

kann, dass mehr als drei Punkte innerhalb des Umkreises liegen. Trifft dieser Fall ein, so spricht man von einer nicht eindeutigen Triangulation. Angelehnt an die Triangulation im 2D Raum wird im 3D Raum nicht die Umkreis- sondern die Umkugelungsbildung verwendet.

Eine weitere Spezifikation dieser Methode führen FREIWALD & JANY (2005) S. 155 an. Die Autoren beschreiben hier, dass für die Vermeidung von langen schmalen Dreiecken, welche zu numerischen Ungenauigkeiten führen könnten, oftmals als zusätzliches Kriterium die Gleichwinkeligkeit herangezogen wird. Zudem können auch der Umfang und der Flächeninhalt in die Berechnung miteinfließen.

„Die eigentliche Triangulation findet in der Ebene statt, die Höhenwerte werden vernachlässigt. Dies führt dazu, dass auch Punkte mit dem gleichen Höhenwert vermascht werden können. Dadurch entstehen so genannte Horizontaldreiecke, auch als kritische Flächen bezeichnet. Diese kritischen Flächen können dabei stützpunktarme Gebiete, wie Ebenen, Plateaus und Seen sein.“ (aus FREIWALD & JANY (2005), S. 155)

Wie eingangs erwähnt, bilden die Grundlage eines jeden TINs die Eingangspunkte mit x,y,z-Werten. Zusätzlich gibt die Anzahl der Kanten, die diese Punkte zu Dreiecken verbinden, Auskunft über den Grad der Vermaschung. FREIWALD & JANY (2005) führen jene drei Listen an, in welchen die Informationen eines TIN gespeichert werden.

Tab. 20 Speicherung eines TIN (aus FREIWALD & JANY (2005), S. 155)

Knoten-Liste	Die Koordinaten jedes Knotens, die Anzahl der unmittelbar benachbarten Knoten und die Startposition der zugehörigen Identifier in der Pointer-Liste werden hier abgelegt
Pointer-Liste:	Speicherort der Pointer zwischen benachbarten Knoten
Dreiecks-Liste:	Jede Kante eines Dreiecks, die direkt an das nächste, rechts liegende Dreieck angrenzt wird hier adressiert

Die Autoren beschreiben außerdem noch eine weitere Möglichkeit der Speicherung des TIN. Bei dieser Methode wird durch Zuweisen einer Referenznummer eines jeden gebildeten Dreiecks, durch Abspeichern der x,y,z-Koordinaten der Dreieckspunkte und durch Anführen der Referenznummern der adjazenten (benachbarten) Dreiecke das TIN beschrieben.

Mit Hilfe von TIN Oberflächen lassen sich unterschiedlichste Analysen durchführen. Zu den gängigsten gehört die Interpolation der Neigung, der Exposition oder des Flächeninhaltes der erstellten Dreiecke. Wie bei allen Produkten in der Geoinformation hängt auch hier die Qualität der Berechnungen von der Art und der Qualität der Rohdaten ab. Ein weiteres ausschlaggebendes Kriterium wäre zudem der zur Dreiecksvermaschung verwendete Algorithmus (nach FREIWALD & JANY (2005), S. 156). In Abb. 25 ist das TIN des Untersuchungsgebietes UNO-City, welches in Kapitel 5.1.1. näher beschrieben wird, abgebildet. Dieses wurde aus LiDAR Daten abgeleitet.

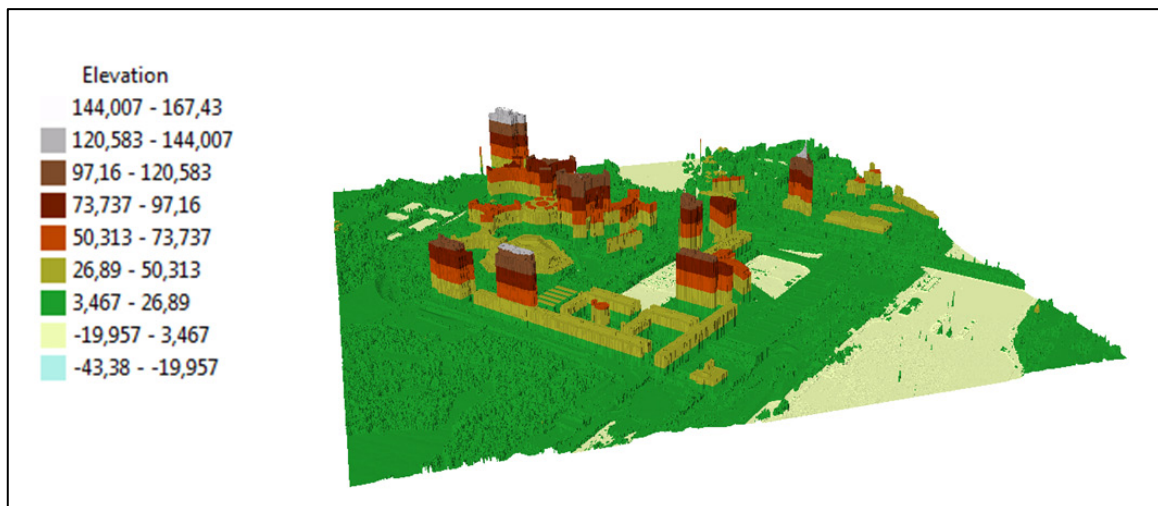


Abb. 25 TIN des Untersuchungsgebietes UNO-City (eigene Bearbeitung (2013))

Das TIN-Modell bringt einige Vor- und Nachteile mit sich, welche in Tab. 21 näher erläutert werden.

Tab. 21 Vor- und Nachteile des TIN Formats (aus FREIWALD & JANY (2005), S. 156)

Vorteile	
Erzeugung	- TINs können aus Punkt-, Linien-, und Flächendaten erzeugt werden. Außerdem besteht die Möglichkeit diese aus ASCII (American Standard Code for Information Interchange) Daten abzuleiten. - Automatisierte Generierung (abhängig vom GIS Produkt)
Visualisierung	- Intuitive Veranschaulichung der Höhenwerte - z.B.: Wasserflächen blau, Täler grün, schneebedeckte Berggipfel weiß etc.
Texturierung	- Überlagerung des TIN mit einem Luftbild - Jedoch: erhöhter Speicherbedarf
Referenzierung	Koordinaten der Ausgangsdaten bleiben in der Definition der Fläche erhalten
Nachteile	
Erzeugung	- Für die Triangulierung sind ausschließlich 2D Daten entscheidend (da die Berechnung in der Ebene geschieht) → reale Lage der Daten wird nicht berücksichtigt - Nur über Umwege möglich beispielsweise Tunnel oder Brücken zu generieren → „Verschmelzung“ mit der Geländeoberfläche
Level of Detail	- Innerhalb eines TIN kann nicht mit einem solchen gearbeitet werden → gleiche Triangulierung in allen Zoomstufen - Weit entfernte und für den Betrachter mitunter nicht sichtbare Gebiete werden trotzdem immer voll berechnet → Nachteilig auf die Leistung des Computer - Continuous-LoD-Algorithmen können Abhilfe schaffen

4.3.2. GRID

Das rasterbasierte Datenformat GRID wird häufig zur Darstellung und Repräsentation von Oberflächen- und digitaler Geländemodelle eingesetzt. Dabei wird die Höheninformation der Oberfläche in gleich große Rasterzellen gespeichert. In Tab. 22 sind die Vor- und Nachteile dieses Datenformates abgebildet (nach ABDUL-RAHMAN & PILOUK (2008), S. 27).

Tab. 22 Vor- und Nachteile des GRID Formats (aus ABDUL-RAHMAN & PILOUK (2008), S. 27)

Vorteile	
Erzeugung	• Einfache Generierung • Sehr gute Generierung von Geländeoberflächen • Eindeutig definierte topologische Information • Relative Position der Punkte innerhalb des GRIDs sind definiert und können gleichmäßig oder ungleichmäßig angeordnet sein
Nachteile	
Mehrfachhöhen	• Keine Möglichkeit der Abspeicherung von Mehrfachhöhen • Information über Häuserfronten, Bäume etc. können nicht in einem einzigen GRID abgespeichert werden

In Abb. 26 ist das Digitale Geländemodell des Untersuchungsgebietes Raabs an der Thaya abgebildet bei einer Auflösung von 1 x 1 Meter.

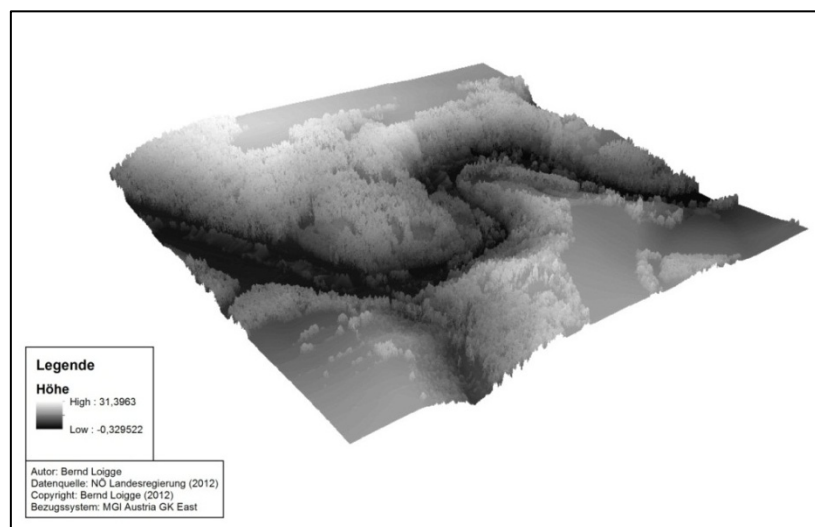


Abb. 26 GRID des Untersuchungsgebietes Raabs an der Thaya (eigene Bearbeitung (2013))

Das in ArcGIS verfügbare GRID Format ist ein speziell von ESRI entwickeltes, natives Speicherformat. Prinzipiell können dabei zwei Arten von GRIDs unterschieden werden (aus ESRI (2013a):

- „Ganzzahlen-GRIDs (Wertebereich: -2147483648 bis 2147483647)
- Float-GRIDs (Wertebereich: von $-3,4 \times 10^{38}$ bis $3,4 \times 10^{38}$)“

ESRI (2013a) schreiben, dass die Attribute für ein Ganzzahlen-GRID in einer Werteattributtabelle – VAT (Value Attribute Table) gespeichert werden. Innerhalb dieser Tabelle werden einerseits die Einzelwerte (VALUE) und andererseits die Anzahl der Zellen (COUNT) gespeichert. ESRI (2013a) nennen als Beispiel ein GRID, welches 50 Zellen hat, wobei jede Zelle den Wert 1 aufweist und als Typ eine Waldfläche ist. Dies würde bedeuten, dass die VAT für jede der 50 Zellen die Angaben VALUE = 1 und COUNT = 50 haben würde. Anders ist dies bei Float-GRID. Hier fehlt die VAT, da die Zellen im GRID jeden beliebigen Wert innerhalb eines vorgegebenen Wertebereichs annehmen können. Durch den Zellenwert selbst wird bei diesem GRID Typ die Positionsbeschreibung zugewiesen. Auch hier führen ESRI (2013a) ein Beispiel an. Beschreibt ein GRID Höhenwerte in Meter über dem Meeresspiegel, so würde eine Zelle mit dem Wert 10,2 angeben, dass sich diese Zelle rund 10 Meter über dem Meeresspiegel befindet.

4.3.3. LiDAR Datenformate

Unter dem LAS-File Format (ASPRS LASer File Format Exchange) versteht man ein öffentliches Datenformat, welches zum Austausch von LiDAR Daten verwendet wird. Dabei handelt es sich um ein binäres Format, welches als Alternative zum ASCII Textformat gesehen werden kann. Es speichert dreidimensionale Punktwolke - Daten und ist sehr gut für den schnellen Austausch geeignet. Obwohl es primär für die Aufnahme von LiDAR Daten entwickelt wurde, ist es prinzipiell für alle dreidimensionalen Punktinformationen geeignet. Die beiden Hauptprobleme beim Austausch von ASCII Daten sind, dass diese zum einen aufgrund ihres Aufbaus eine langsame Verarbeitung und einen hohen Speicherplatzbedarf und somit eine niedrige Performance aufweisen und zum anderen, dass spezielle Sekundärinformation, die LiDAR – Daten betreffend, verloren geht (nach THE AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY & REMOTE SENSING (2011), S.3).

Um vorhandene LAS Dateien innerhalb von ArcGIS verwenden zu können müssen die Dateien zunächst in ein LAS-Dataset integriert werden, damit ein schneller Zugriff auf die LiDAR Daten und die daraus resultierenden Oberflächeninformationen ohne vorherige Datenkonvertierung, wie dies bei ASCII Files nötig wäre, ermöglicht wird. So können mehrere tausend LAS-Dateien vereinfacht in einem LAS-Dataset zusammengefasst werden. Außerdem können LAS-Dateien auch in Mosaik- oder Terrain Datasets verwaltet werden. ArcGIS bietet folgende Möglichkeiten um LAS-Dateien zu verwalten (nach ESRI (2013b)).

Tab. 23 Vergleich zwischen LAS-Dataset, Mosaik-Dataset und Terrain-Dataset (aus ESRI (2013b))

	LAS-Dataset	Mosaik-Dataset	Terrain-Dataset
ArcGIS-Anwendungen	ArcCatalog, ArcScene, ArcMap	ArcCatalog, ArcGlobe, ArcMap	ArcCatalog, ArcGlobe, ArcMap
Speicherorte	Dateisystem	Geodatabase	Geodatabase
Beziehung zu den LAS-Quelldateien	Verweist auf	Verweist auf	Ohne
Größenbeschränkung	Beschränkt durch Speicherplatz auf Datenträger	Beschränkt durch zulässige Größe in Geodatabase	Beschränkt durch zulässige Größe in Geodatabase
Oberflächen-einschränkungen	Unterstützt	Nicht direkt unterstützt (unterstützt, wenn vorhanden in LAS-Dataset oder Terrain-Dataset)	Unterstützt
LIDAR-Eingabedateien	LAS-Dateien	LAS-Dateien, Terrain-Datasets, LAS-Datasets	Multipoint-Feature-Class
LIDAR-Typen	Luftgestützt und terrestrisch	Luftgestützt	Luftgestützt
Rendern	Punkte, triangulierte Oberfläche in 2D und 3D	Raster	Triangulierte Oberfläche
Analyse	Werkzeuge, die Punktwolken oder TINs aufnehmen können	Verwenden mit Werkzeugen, die Raster-Daten aufnehmen können	Werkzeuge, die TINs oder Raster-Datasets aufnehmen können
	Verwenden mit 3D Analyst-Werkzeugen	Verwenden mit Spatial Analyst-Werkzeugen und anderen Raster-Dataset-Werkzeugen	Verwenden mit 3D Analyst-Werkzeugen
	Verwenden mit LAS-Dataset-Werkzeugen		Verwenden mit Spatial Analyst-Werkzeugen und anderen Raster-Dataset-Werkzeugen
Bearbeitungspunkte	Kann die Punkte bearbeiten, die sich in den LAS-Dateien befinden	Kann keine Punkte bearbeiten	Kann LAS-Punkte als Multipoints bearbeiten, die vom Terrain-Dataset referenziert werden

Kombinieren mit Daten	Unterstützt LAS-Dateien, Feature-Classes und Shapefiles	Unterstützt LAS-Dateien, LAS-Datasets, Terrain-Datasets und andere Raster-Formate	Unterstützt LAS und Feature-Classes
------------------------------	---	---	-------------------------------------

Besonders das LAS-Dataset eignet sich hervorragend um die LAS-Quelldateien oder die aufgezeichneten LiDAR-Punktdaten zu editieren. LAS-Datasets können bearbeitet werden, um Fehler zu korrigieren, um Verbesserungen vorzunehmen oder um die Ausdehnung des Datenbereichs zu erweitern bzw. zu verkleinern. Folgende Punkte beschreiben Möglichkeiten der Abfrage und Manipulation innerhalb von LAS-Datasets (aus ESRI (2013b)):

- *„Manuelles Beheben von Fehlern in Klassencodes*
- *Die LiDAR-Punkte zur Datenvalidierung mit vorhandenen GIS-Daten visuell abgleichen, z. B. mit Gebäudedaten*
- *Klassifizieren von LiDAR-Punkten mit GIS-Features*
- *Reklassifizieren von LiDAR-Punkten durch manuelle Auswahl eines oder mehrerer LiDAR-Punkte*
- *Ändern ganzer Klassifizierungscodes, die aktuell im LAS-Dataset verwendet werden*
- *Hinzufügen von LAS-Dateien zu bzw. Entfernen von LAS-Dateien aus einem LAS-Dataset zum Vergrößern oder Verkleinern der Datenausdehnung*
- *Hinzufügen oder Entfernen anderer GIS-Oberflächen-Features, sogenannter Oberflächeneinschränkungen, zu bzw. aus einem LAS-Dataset*
- *Interaktives Messen von 3D Entfernungen zwischen sichtbaren Features, beispielsweise Stromleitungen und Bäumen*
- *Verwenden der LiDAR-Punkte als Hintergrunddaten zur Digitalisierung in neue GIS-Features wie beispielsweise Straßenausstattung*
- *Zuweisen eines Raumbezugs zu einem Projekt“*

4.3.4. 3D Shapefiles (Multipatch)

Das Multipatch Datenformat wurde von Esri 1997 entwickelt und ist das Standardformat von 3D Objekten in ArcGIS. Multipatch Features setzen sich dabei aus geschlossenen dreieckigen Streifen bzw. Fächern, Dreiecken oder Ringen zusammen (siehe Abb. 27).

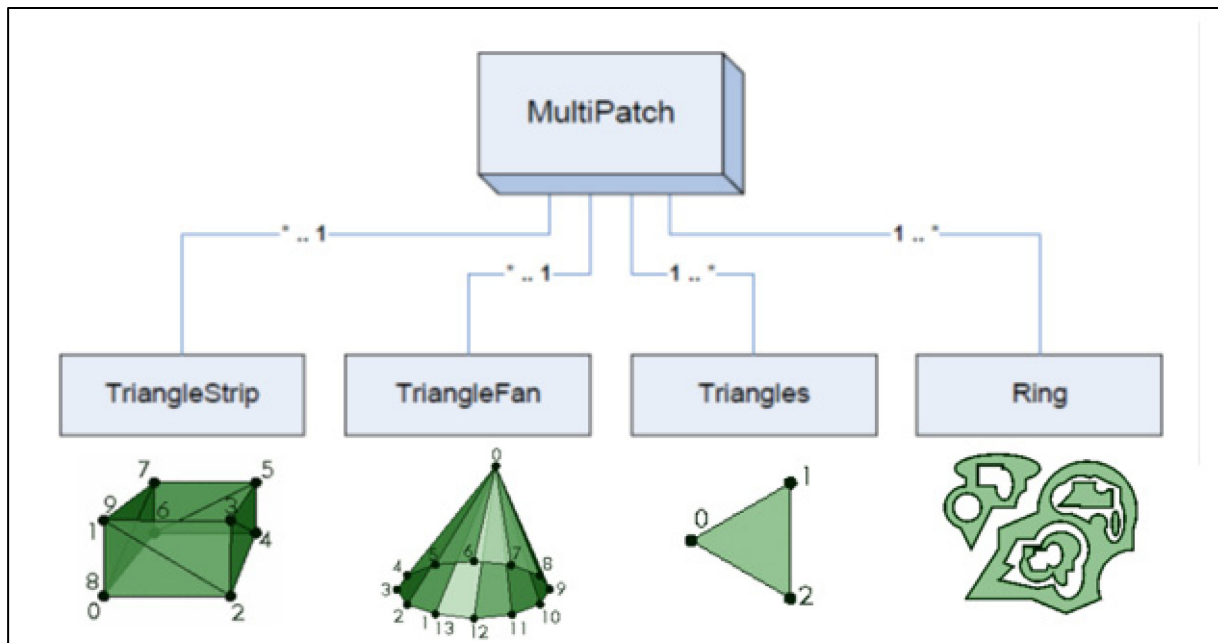


Abb. 27 Aufbau des Multipatch Datenformates und Beispiele der Subtypen (aus Esri (2008), S.2 ff.).

Eine Multipatch Datei ist somit ein Container für eine größere Anzahl an Geometrien, welche in ihrer Summe ein 3D Objekt beschreiben. Dabei können die vier beschriebenen Basistypen in unterschiedlichster Form miteinander kombiniert sein. Erstellt werden können Multipatch Dateien entweder durch die Editierfunktion in ArcScene (siehe Kapitel 6.1.) oder durch ein Umwandeln aus einem anderen 3D Format. Alle Multipatches speichern Z-Werte als Teil der Koordinaten, die zum Erstellen von Mustern verwendet werden. Zwar ist es auch möglich, den Basis-Z-Wert eines Multipatches mithilfe eines numerischen Feature-Attributs zu modellieren, jedoch unterstützt diese Option möglicherweise nicht alle Analyse- und Interaktionsoptionen, die bei Verwendung eingebetteter Z-Werte zur Verfügung stehen. Einige Multipatch-Features werden als geschlossen betrachtet, das heißt, dass sie ein Volumen korrekt definieren. Geschlossene Multipatches können in zusätzlichen Analysewerkzeugen verwendet werden (z. B. **Union 3D** oder **Intersect 3D**). Damit ein Multipatch als geschlossen betrachtet wird, muss es auf die richtige Weise erstellt werden. Das Feature muss ein bestimmtes Volumen darstellen. Die Muster, aus denen es besteht, müssen alle dieselbe Ausrichtung entgegen dem Uhrzeigersinn ihrer Koordinaten besitzen und die Form des Volumens mitbestimmen. Die Muster dürfen sich nicht überschneiden. Außerdem darf die Form weder Lücken noch Leerräume aufweisen. Mithilfe des Geoverarbeitungswerkzeugs **Enclose 3D** kann man überprüfen, ob ein Multipatch korrekt

geschlossen ist. Beispiele für Multipatch-Features sind Gebäude mit Textur, Laternenmasten, Bäume, geologische Formationen unterhalb der Oberfläche, unterirdische Strukturen oder bestimmte Typen von analytischen Oberflächen (nach ESRI (2008), S.1 ff.).

4.3.5. Terrain

Unter einem Terrain bzw. Terrain-Dataset versteht man TIN-basierte Oberflächen, welche mehrere Auflösungen besitzen. Das Dataset setzt sich aus Messwerten zusammen, die als Features in einer Geodatenbank gespeichert sind. Zur Erstellung von Terrains werden LiDAR oder photogrammetrische Datengrundlagen herangezogen. Die Daten für Terrains werden dabei in Features gespeichert, die in Feature Datasets in einer Geodatenbank verwaltet werden (nach ESRI (2013c)).

Innerhalb eines Terrains können für die Feature Klassen Regeln (ähnlich einer Topologie) erstellt werden. In Tab. 24 sind Beispiele für Feature Klassen angeführt, welche als Datenquellen für Terrains fungieren können.

Tab. 24 Feature Klassen, welche als Datengrundlage für Terrain Datasets fungieren können (aus ESRI (2013c)).

Multipoint Feature Klassen	LiDAR oder SONAR Rohdaten
3D Punkt oder Linien Feature Klassen	Erstellt durch optische Auswertungen photogrammetrischer Aufnahmen
Boundarie Feature Klassen	Definieren die Grenzen eines Terrain Datasets

Die Regeln des Terrain-Datasets steuern, auf welche Weise eine Oberfläche mithilfe von Features definiert wird. Beispielsweise kann in einer Regel festgelegt werden, dass Features in einer Feature-Class, die Linien für die Gehwegsbegrenzungen an Straßen enthält, als harte Bruchkanten eingebunden werden sollen. Dies führt zu dem gewünschten Effekt, dass lineare Unterbrechungen in der Oberfläche entstehen. Mithilfe dieser Regeln kann auch angegeben werden, wie eine Feature Klasse in Abhängigkeit vom jeweiligen Darstellungsmaßstab eingebunden werden soll. Eine Repräsentation der Gehwegsbegrenzungen ist nur bei mittleren bis großen Maßstäben erforderlich. Durch entsprechende Regeln kann die Verwendung der Begrenzungen bei kleineren Maßstäben verhindert werden, um die Anzeigeleistung zu verbessern. Ein Terrain-Dataset in der Geodatenbank verweist auf die ursprünglichen Feature Klassen. Oberflächen werden nicht tatsächlich als Raster oder TIN gespeichert. Stattdessen werden die Daten so organisiert, dass Informationen möglichst schnell abgerufen und die TIN-Oberflächen "on-the-fly" abgeleitet werden können. Diese Organisation beinhaltet das Erstellen von "Terrainpyramiden", die es ermöglichen, nur die Daten aus der Datenbank abzurufen, die zum Erstellen der Oberfläche eines Gebiets mit einer bestimmten Detaillierungsebene

erforderlich sind. Die entsprechende Pyramidenebene wird relativ zum aktuellen Anzeigemaßstab verwendet oder wird vom Benutzer in Analysefunktionen ausgewählt. Deshalb wird die entsprechende Auflösungsebene verwendet, um Genauigkeitsanforderungen zu erfüllen (nach ESRI (2013c)).

Mithilfe unterschiedlicher Funktionen lassen sich vektorbasierte Oberflächendaten somit innerhalb der Terrain-Datasets bearbeiten, abfragen und speichern. Es besteht auch die Möglichkeit aus den gesammelten Messdaten unterschiedliche Oberflächen abzuleiten. Beispielsweise lassen sich so für bestimmte Interessensbereiche (AOI - Areas of Interest) auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen (LOD – Level of Detail) generieren. Wie bereits angesprochen sind Terrain-Datasets vor allem zur Verwaltung von LiDAR Daten und anderen Punktdaten hilfreich. Folgende Punkte fassen die Vorteile nochmal zusammen (aus ESRI (2013c)):

- *„Bessere Darstellung und Modellierung des Terrains eines Untersuchungsgebietes*
- *Integration von unterschiedlichsten zusätzlichen Vektordaten (z.B.: 3D Features die durch Photogrammetrische Aufzeichnungen digitalisiert wurden)*
- *Analyse durch fast alle Analysetools des 3D Analyst*
- *Schnelles Ableiten von Raster-basierten Oberflächenmodellen aus den Terrain-Datasets“*

4.3.6. DXF

FREIWALD & JANY (2005) beschreiben das DXF-Format (Drawing Interchange Format) als ein klassisches CAD-Datenformat, welches vor allem in der ingenieurmäßigen Konstruktion als Standardformat für den Austausch Verwendung findet. Das Format wird hier an dieser Stelle angeführt, da die Rohdaten für die Modellierung des Untersuchungsgebietes UNO-City in diesem Format geliefert wurden.

Entwickelt wurde das Format von der Firma Autodesk, welche dieses in Kombination mit ihrem CAD-System AutoCAD vermarktet. Der Vorteil dieses Formates liegt in der offenen und sehr gut dokumentierten Datenstruktur, wodurch es sich hervorragend für Betriebssystem-unabhängige Datentransfers eignet. Da auch Autodesk konkurrierende CAD Herstellerfirmen das DXF-Format lesen und abspeichern können, kann man dieses als Industriestandard sehen. Im Gegensatz zum AutoCAD-spezifischen Dateiformat DWG liegt die Dokumentation von DXF offen. DXF-Dateien können entweder ASCII- oder binärcodiert sein. Die ASCII-codierte Variante ist jedoch die am häufigsten angewendete (nach FREIWALD & JANY (2005), S. 152). DXF-Dateien haben in der Regel folgenden Aufbau:

Tab. 25 Bestandteile einer DXF-Datei (aus FREIWALD & JANY (2005), S. 153 f.)

Header	Abgelegte AutoCAD interne Systemvariablen
Classes	Definition von Klassen
Tables	Definition von Linientypen, Layern, Benutzerkoordinatensystem, Textstile u.a.
Blocks	Information über die verwendeten Elemente (Metadaten)
Entities	Beschreibung der graphischen Objekte
Objects	Beschreibung der nicht-graphischen Objekte
Thumbnailimage	Bildvorschau

„Das DXF-Format gibt es in unterschiedlichen Versionen, welche häufig umgangssprachlich der entsprechenden AutoCAD-Version zugeordnet wird, da es mit dieser Version erstmalig erzeugt werden kann. DXF ist dabei immer uneingeschränkt abwärtskompatibel.“ (AUTODESK (2012)).

4.3.7. Weitere 3D Datenformate (3DS, Sketchup, KML)

Der 3D Analyst bietet mittels der Funktion **Import 3D Files** die Möglichkeit andere 3D Datenformate zu importieren, welche vor allem aus dem Bereich der Animation und Visualisierung stammen. Alle diese Formate haben gemein, dass sie meist keinen Raumbezug aufweisen und damit nach dem Import meist erst georeferenziert und skaliert werden müssen. Der Vorteil liegt darin, dass die importierten Modelle meist eine hohe Detailgenauigkeit aufweisen und visuell ansprechend aufbereitet wurden.

„Das 3DStudio Format (3DS) ist ein proprietäres Format der Firma Autodesk und war ursprünglich das Dateiformat des 3D-Modellierungspaketes 3D Studio MAX. Inzwischen hat es sich zu dem am weitest verbreiteten Austauschformat im Bereich der 3D Modellierung und Animation entwickelt. 3DS-Dateien mit gleichnamiger Endung können neben Geometriedaten, Angaben über Animation, Beleuchtung, Oberflächeneigenschaften, Verweise auf externe Texturen u.a. enthalten.“ (aus FREIWALD & JANY (2005), S.154)

Ein weiteres 3D Format, welches in ArcGIS importiert werden kann, ist das Sketchup Format (SKP) der gleichnamigen Software (SketchUp). SketchUp bietet unterschiedlichste Möglichkeiten zum Generieren von dreidimensionalen Modellen. Da das Programm sehr simpel und intuitiv aufgebaut ist und man relativ schnell erlernt mit diesem schnell Ergebnisse zu produzieren, wurde der Name „SketchUp“ gewählt, was so viel wie Handskizze bedeutet. Die erste Version der Software wurde im Jahr 2000 von der Firma @Last Software veröffentlicht. Im März des Jahres 2006 wurde diese dann von der Firma Google aufgekauft und unter deren Namen weiter vertrieben. Zu Beginn des Jahres 2012 wurde SketchUp dann von Trimble Navigation übernommen und wird, unter der derzeitigen Version, auch weiterhin von dieser Firma bereitgestellt. Aufgrund der „Extrusionsfunktion“ lassen sich Gebäude sehr schnell modellieren und mit Hilfe der eingebetteten Datengrundlage von Google Maps auch sehr leicht georeferenzieren. Anschließend können die Ergebnisse als

Keyhole Markup Language – Datei (KML) exportiert und in GoogleEarth geladen werden. Die Software SketchUP kann gratis oder kostenpflichtig als Pro-Version bezogen werden. Zusätzlich können spezielle Modifikationen der Modelle mittels der Skriptsprache Ruby durchgeführt werden (nach GOOGLE (2007), S.12 ff.).

Das KML – Format ist eine Auszeichnungssprache zur Beschreibung von Geodaten und wird zur Kommunikation zwischen Server und Client verwendet. Entwickelt wurde das Format von Google Inc. und ist das Standardformat zum Austausch von unterschiedlichsten Daten mit Raumbezug für die Programme Google Earth oder Google Maps. KML befolgt dabei die XML Syntax und liegt in der Version 2.2 vor und ist ein Standard des Open Geospatial Consortiums. Der Vorteil dieses Formates liegt darin, dass sowohl Vektor- als auch Rasterdaten beinhaltet sein können. Punkt-, Linien- und Polygonvektordaten als auch 3D Modelle werden als sogenannte Placemark-Elemente in einem KML gespeichert. Die Raster-basierten Elemente wie beispielsweise Luftbilder werden als sogenannte Ground-Overlay-Elemente gespeichert (nach GOOGLE DEVELOPERS (2013)).

5. Praktische Modellerstellung anhand der Beispiele „UNO-City“ (Wien) und „Raabs an der Thaya“ (Niederösterreich)

Im folgenden Kapitel wird der erste empirische Teil dieser Masterarbeit beschrieben. Dabei wird die Erstellung von dreidimensionalen Modellen für ein urbanes Untersuchungsgebiete „UNO-City“ und ein ländliches Untersuchungsgebiet „Raabs an der Thaya“ vorgestellt. Die beiden Modelle stellen dann, für die in Kapitel 6. beschriebenen Analysemöglichkeiten, die Grundlage dar.

In diesem Kapitel werden zunächst die beiden Standorte kurz erläutert und eine kurze Gebietsbeschreibung gegeben. Weitere Unterpunkte befassen sich mit der Datengrundlage, dem Workflow bei der Umsetzung der Modellerstellung und der Visualisierung. Die im theoretischen Teil der Masterarbeit beschriebenen Datenformate und Oberflächenmodelle werden als Grundlagen für diese praktische Umsetzung herangezogen.

5.1. Gebietsbeschreibung der Untersuchungsgebiete

In diesem Unterkapitel werden die beiden Gebiete zunächst beschrieben und anschließend werden die in der Modellierung verwendeten Datengrundlagen erläutert. In Abb. 28 sind die beiden UGs verortet.

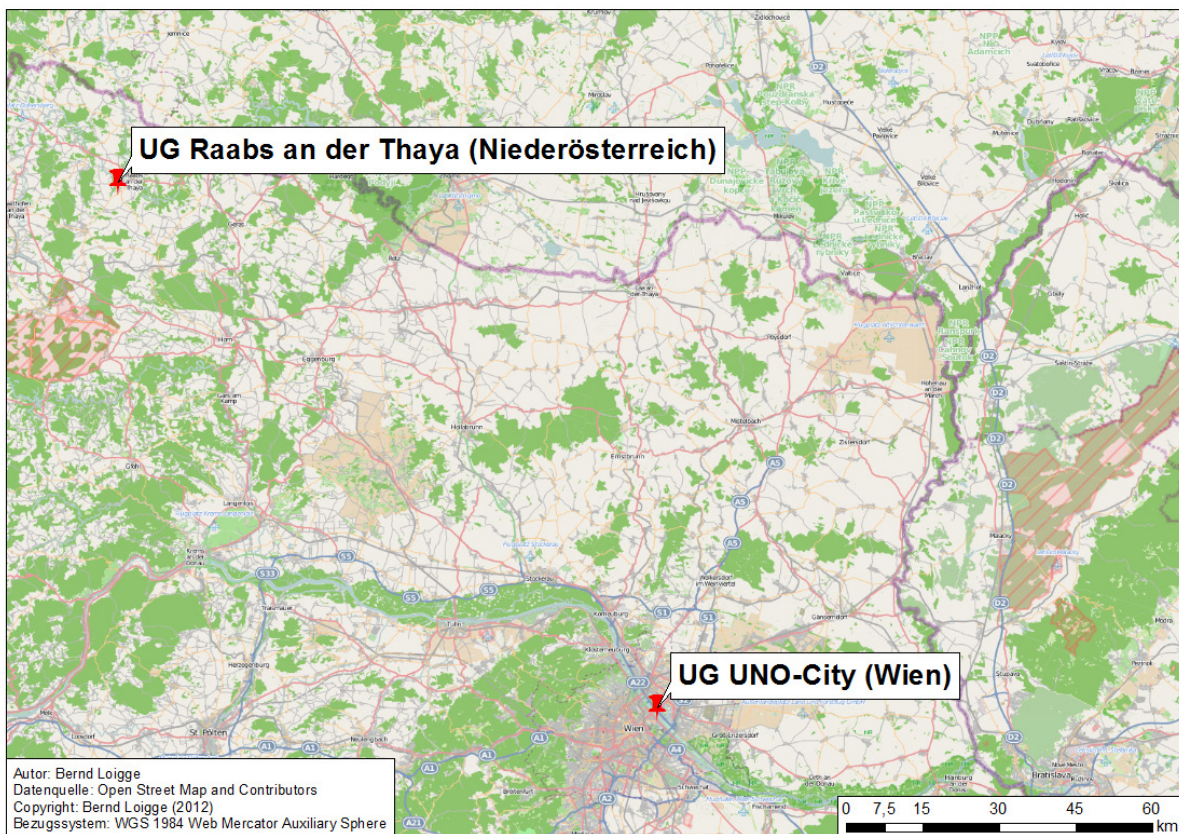


Abb. 28 Verortung der beiden UGs (eigene Bearbeitung (2013))

5.1.1. Untersuchungsgebiet „UNO-City“

Die Wahl des Untersuchungsgebietes „UNO-City“ (alias „Vienna International Center“ kurz VIC) wurde aufgrund der großen Anzahl an Hochhäusern im Wiener Stadtraum gewählt, welche repräsentativ für den urbanen Raum stehen. Außerdem stellt die Architektur der Gebäude eine Herausforderung bei der automatisierten Ermittlung der Grundrisse dar. Zunächst einige Worte zur geschichtlichen Entwicklung des UG.

„Die Errichtung der UNO-City ist eine politische Entscheidung, weil Wien als UNO-Zentrum größte Wichtigkeit für die Neutralität und Sicherheit Österreichs hat.“

Dieses Zitat, des ehemaligen österreichischen Bundeskanzler Bruno Kreisky im Jahre 1973, leitete den Baubeginn der UNO-City ein. Schon seit der Ansiedelung der Internationalen Atomenergiebehörde im Jahre 1957, war es der Stadt Wien ein Anliegen einen Hauptsitz der Vereinten Nationen permanent in Wien zu etablieren, da man dies als Bereicherung für die Stadt ansah und aufgrund der Neutralität Österreichs als ein idealer Ort gesehen wurde. Die Baukosten des Gebäudekomplexes wurden zu 35 Prozent von der Stadt Wien und zu 65 Prozent vom Bund übernommen. Die Betriebskosten sollten von der UNO selbst übernommen werden. Die Errichtung der Räumlichkeiten der UNO-City dauerte von 1973 bis 1979. Zusätzlich wurde zwischen 1979 und 1987 ein Konferenzzentrum (Austria Center Vienna) errichtet, welches für unterschiedliche Ausstellungen und Kongresse gedacht war / ist (siehe Abb. 29). Eigentlich sollten zu Beginn nur die IAEO und die UNIDO ihren Hauptsitz in Wien haben. Da dadurch jedoch eine Auslastung der UNO-City nicht gegeben gewesen wäre, entschloss man sich noch weitere Organisationen der UNO nach Wien zu verlegen (siehe Tab. 26) (nach AUSTRIA PRESSE AGENTUR (1987)).

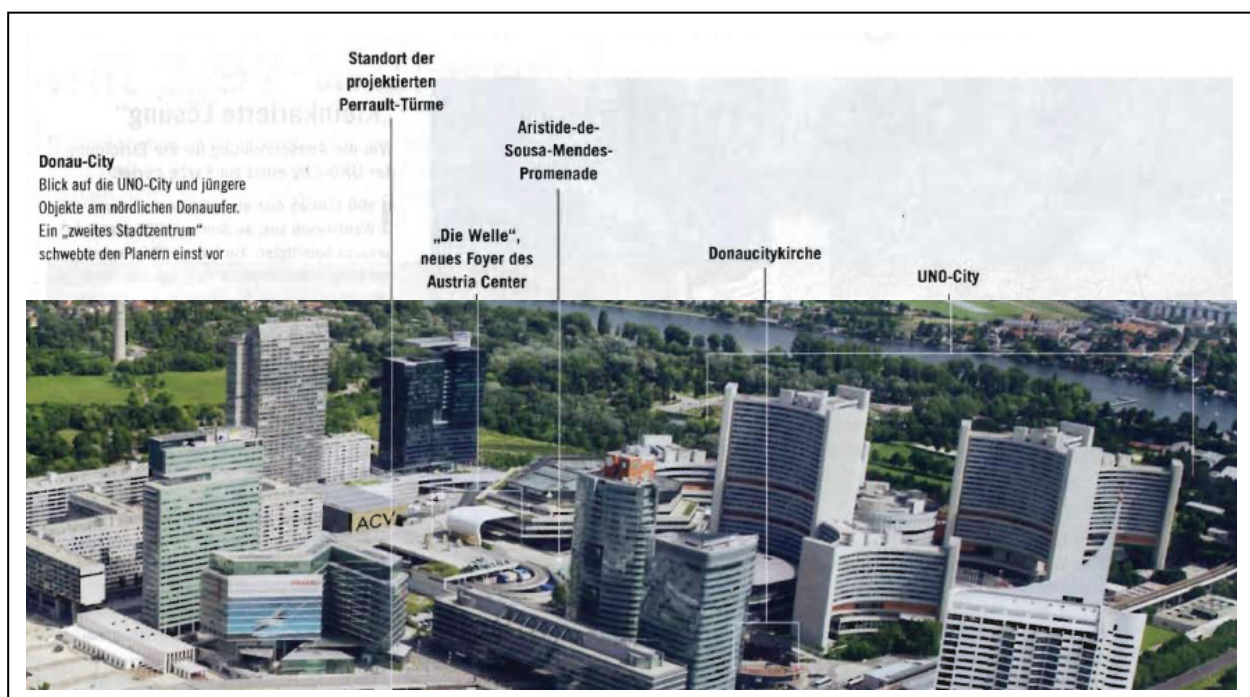


Abb. 29 Die unterschiedlichen Gebäudeteile des UNO-City Komplexes (aus PISARIK (2009), S.111)

Tab. 26 Organisationen der Vereinten Nationen in Vienna International Center (aus UNITED NATIONS INFORMATION SERVICE (2010))

Abkürzung	Vollständiger Name
UNODC	Büro der Vereinten Nationen für Drogenkontrolle und Verbrechensverhütung
UNIDO	Organisation der Vereinten Nationen für industrielle Entwicklung – seit 1967 in Wien
OOSA	Büro der Vereinten Nationen für Weltraumfragen
UNICTRAL	Kommission der Vereinten Nationen für internationales Handelsrecht
UNODA	Büro der Vereinten Nationen für Abrüstung
UNHCR	Flüchtlingskommissariat der Vereinten Nationen mit Büros in Wien und Berlin und Hauptsitz in Genf
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation, seit 1957 in Wien
CTBTO	Vorbereitungskommission für die Organisation des Vertrags über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen
IKSD	Kommission für den Schutz der Donau

Die Datengrundlage für die Modellierung des 3D Modells dieses Untersuchungsgebietes sind LiDAR Daten der Stadt Wien. Diese wurden dankenswerterweise vom Magistrat 41 (Stadtvermessung Wien) vergünstigt zur Verfügung gestellt, da es sich um Geodatenprodukte zur nicht kommerziellen Nutzung für Unterricht, Lehre und wissenschaftlicher Forschung handelt. Die genauen Geltungsbereiche zur Nutzung können unter <http://www.wien.gv.at/viennagis/pdf/nutzung-lehre-forschung.pdf> eingesehen werden.

Bei der Wahl der Ausdehnung des Untersuchungsgebietes wurde darauf geachtet, dass nach Möglichkeit das gesamte Gebiet des Vienna International Centers erfasst wurde (siehe Abb. 30). Weitere Datengrundlagen bilden Orthophotos, welche mit Hilfe der Software Mobile Atlas Creator 1.7 generiert wurden, Straßendaten, welche aus der Lehrveranstaltung Geomarketing bezogen wurden und zusätzliche Sketchups, welche über <http://sketchup.google.com/3dwarehouse> gratis bezogen werden konnten.

Tab. 27 Informationen über die verwendeten Rohdaten im UG UNO-City (eigene Bearbeitung (2012))

Daten	Quelle	Anmerkung
LiDAR Datensatz	Magistrat 41, Stadt Wien	• Daten im DXF Format • First Respond → DSM • Last Respond → DTM • 1002001 Punkte pro Respond • Auflösung ~ 1 Meter • Bezugssystem: MGI_Austria_GK_East
Orthofotos	Mobile Atlas Creator 1.7	• Daten im PNG + Worldfile Format • Zoomlevel: 18 • Bezugssystem: WGS_1984_Mercator_Auxiliary_Sphere
Straßendaten Wien	Proseminar Geomarketing	• Daten im SHP Format • Bezugssystem: MGI_Austria_Lambert
Sketchups	http://sketchup.google.com/3dwarehouse	• Daten im SKP und DAE Format • Bezugssystem: keines

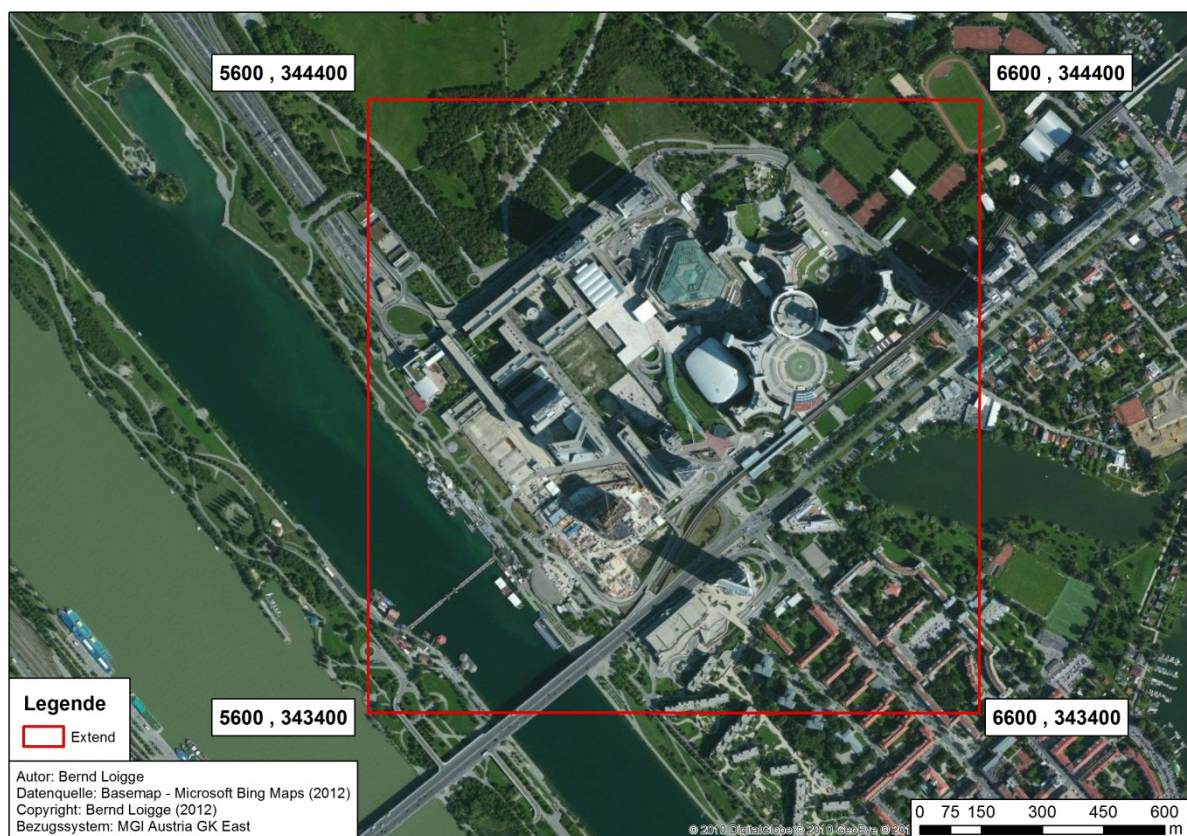


Abb. 30 Ausdehnung des UG UNO-City (eigene Bearbeitung (2012))

5.1.2. Untersuchungsgebiet „Raabs an der Thaya“

Das Untersuchungsgebiet wurde aufgrund seines ländlichen Charakters gewählt und befindet sich rund drei Kilometer westlich der Stadt Raabs an der Thaya im nördlichen Waldviertel. Durch das UG fließt die Deutsche Thaya, welcher sich in Raabs mit dem mährischen Teil verbindet und ab dort als Thaya bezeichnet wird. Die Stadtgemeinde Raabs umfasst eine Fläche von rund 134 Quadratkilometer, wobei rund 27,6 Prozent dieser Fläche bewaldet sind. Raabs liegt im Gebiet der Böhmisches Masse. Die speziell in Raabs vorherrschenden Gesteine sind Paragneis, Glimmerschiefer, Phyllit und in der näheren Umgebung ist außerdem noch der Gföhler Gneis und geringe Mengen von Amphibolit zu finden (nach GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (2013)).

Der Begriff Böhmisches Masse beschreibt ein im Paläozoikum entstandenes Gebirgsmassiv in Mitteleuropa, das seither abgetragen und nicht von der alpinen Gebirgsbildung erfasst wurde. Die böhmische Masse erstreckt sich vom Wald- und Mühlviertel nach Bayern, Böhmen, Mähren und weiter bis nach Sachsen und Schlesien. Hier findet man Mittelgebirgslandschaften (Gebirge mit Höhendifferenzen von 500 bis 1000 m und gerundeten Formen), hügelige Weiten und herbe Hochflächen mit tief eingeschnittenen, waldreichen Tälern. Raabs liegt in der moldanubischen Zone, welche aus kristallinen Gesteinen, die durch die Umwandlung von Sedimentgesteinen und erstarrten Gesteinsschmelzen des Jungproterozoikums und Altpaläozoikums entstanden sind, besteht. Hier herrscht ein sehr hoher Metamorphosegrad der Gesteine (nach FUCHS (1998), S. 39 ff.)

Aufgrund dieser physiogeographischen Voraussetzungen und der kaum vorhandenen Siedlungsstruktur wurde dieses UG als Beispiel für einen ländlichen Raum ausgewählt.

Tab. 28 Informationen über die verwendeten Rohdaten im UG Raabs an der Thaya (eigene Bearbeitung (2012))

Daten	Quelle	Anmerkung
LiDAR Datensatz	Amt der Nieder-österreichischen Landesregierung, Gruppe Baudirektion, Abteilung Hydrologie und Geoinformation, St. Pölten	• Daten im ASCII Format • First Respond → DSM • Last Respond → DTM • Auflösung ~ 1 Meter • Bezugssystem: MGI_Austria_GK_East
Orthofotos	Mobile Atlas Creator 1.7	• Daten im PNG + Worldfile Format • Zoomlevel: 16 • Bezugssystem: WGS_1984_Mercator_Auxiliary_Sphere



Abb. 31 Ausdehnung des UG Raabs an der Thaya (eigene Bearbeitung (2012))

5.2. Workflow der Modellerstellung

In diesem Kapitel wird die Erstellung der 3D Oberflächenmodelle für die beiden Untersuchungsgebiete beschrieben. Da es sich dabei um zwei sehr unterschiedlich geographische Räume handelt (urban und ländlich), musste die Modellerstellung den jeweiligen Standortbedingungen angepasst und adaptiert werden. Die Grundlage für die Erstellung stellt dabei ein Tutorial der Firma ESRI dar, welches geringfügig verändert wurde. Unter (<http://www.arcgis.com/home/item.html?id=1a58cae727e24927be5a113e52557323>) kann das Tutorial inkl. Beispielesdatengrundlagen heruntergeladen werden. Dieses Tutorial stellt den ersten Teil eines vier Punkte umfassenden Projektes dar:

1. **Entwicklung eines 3D real-world Modells aus den Geobasisdaten (in 2D und 3D) / from a geodatabase containing 2D and 3D data create the real-world 3D model**
2. Erstellen von neuen 3D Gebäuden / design new 3D buildings using procedural rules in the new development area
3. Kombination von unterschiedlichen Modellen im CityEngine / combine real-world, new development and 3d analytics models in CityEngine
4. Veröffentlichung der CityEngine Ergebnisse im Web / publish CityEngine scene to Web Scene

Das Projekt wird auf der Homepage von ArcGis.com als „Philadelphia Redevelopment“ geführt und soll dem Nutzer die Möglichkeiten von ESRI's Standalone Software „CityEngine“ näher bringen. In diesem Kapitel wird nun auf den ersten Punkt eingegangen. Da die einzelnen Generierungsschritte bei der Modellerstellung für den urbanen und ländlichen Raum sehr ähnlich sind, wird der Prozess nur einmal beschrieben, wobei auf konkrete Unterschiede der Untersuchungsgebiete eingegangen wird. In Abb. 32 ist der Workflow veranschaulicht, wobei die einzelnen Punkte in den folgenden Kapiteln näher beschrieben werden.

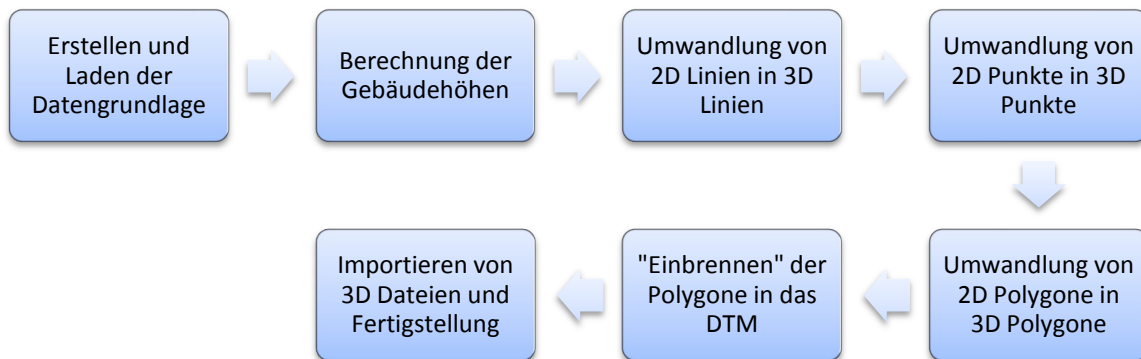


Abb. 32 Workflow zur Erstellung der 3D Modelle für die Untersuchungsgebiete (eigene Bearbeitung (2013))

5.2.1. Erstellen und Laden der Datengrundlage

Für die Erstellung der Modelle sind verschiedene Datengrundlagen nötig (siehe Tab. 29).

Tab. 29 Vorhandene und zu generierende Datengrundlage für die Modellierungen (eigene Bearbeitung (2013))

Datengrundlage	vorhanden / muss generiert werden
Terrain / DTM & DSM	Muss generiert werden → Kapitel 5.2.1.1.
Topographic Map / Orthophotos	Vorhanden
2D building footprints / 2D Gebäudegrundrisse	Müssen generiert werden → Kapitel 5.2.1.2.
2D street lines / 2D Straßendaten	Vorhanden
2D vegetation points or polygons / 2D Vegetationsdaten als Punkte oder Polygone	Müssen generiert werden → Kapitel 5.2.1.3.
Airborne lidar / Flugzeuggestützte LiDAR Daten	Vorhanden

Wie bereits im Kapitel 5.1. beschrieben, ist die Datengrundlage für die beiden Untersuchungsgebiete eine unterschiedliche. Einige der benötigten Datengrundlagen mussten daher erst neu generiert werden um mit der Modellierung fortfahren zu können. Zur Veranschaulichung wird die Extraktion der Gebäude anhand des urbanen Untersuchungsgebiets UNO-City und die Extraktion der Vegetation anhand des ländlichen Untersuchungsgebiets Raabs erläutert.

5.2.1.1. Terrain / DSM & DTM

Da die Grundlage für die Modelle ein einwandfreies Terrain darstellt, musste dieses zunächst aus den einzelnen Grundlagen erstellt werden. Für die UNO-City wurden als Grundlage die „First Respond“ (Generierung des DSM) und die „Last Respond“ (Generierung des DTM) LiDAR Punktdaten herangezogen. Für das Untersuchungsgebiet Raabs an der Thaya waren das DSM und DTM bereits als Rasterdaten vorhanden.

Die LiDAR Daten wurden daher zunächst aus den DXF Dateien in die File-Geodatabase importiert. Da für die Berechnung des Terrains der durchschnittliche Abstand der einzelnen Punkte zueinander notwendig war, wurden die Punkte zunächst mit der Funktion **Feature Class Z to ASCII** in ein TXT File umgewandelt und anschließend wurde der Abstand mit der Funktion **Point File Information** berechnet und als SHP File ausgegeben. So konnte nun ein neues **Terrain Dataset** mit Hilfe des **Terrain Wizzards** im Catalog angelegt und berechnet werden. Abschließend wurde aus den Terrain Datasets ein DSM und ein DTM mit der Funktion **Terrain to Raster** berechnet. Zur Berechnung wurde dabei die **Natural_Neighbors** Methode verwendet und als Sampling Distance ein Wert von **Cellsize 1** (Anmerkung: Meter) verwendet. Um die Ergebnisse zu Überprüfen wurden außerdem DSM und DTM direkt aus den LiDAR Daten mittels der Funktion **Point to Raster** generiert. Die Ergebnisse der DSM und DTM, welche aus dem Terrain generiert wurden, waren differenzierter und einzelne Gebäudestrukturen konnten besser erkannt werden. In Abb. 33 ist der Workflow nochmals schematisch veranschaulicht. In Abb. 34 und Abb. 35 sind das DSM und DTM der Untersuchungsgebiete bei einer 1 Meter - Auflösung abgebildet.

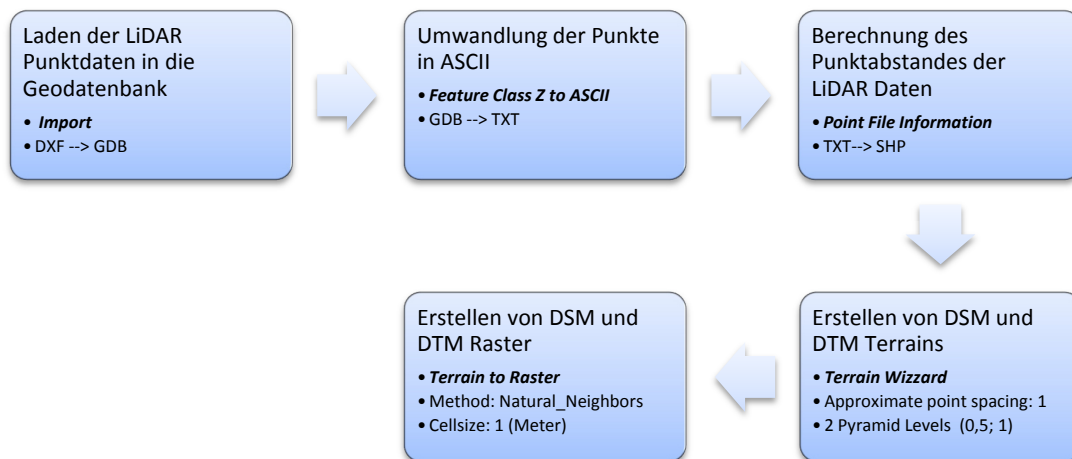


Abb. 33 Workflow zur Erstellung der Terrains / DTM & DSM (eigene Bearbeitung (2013))

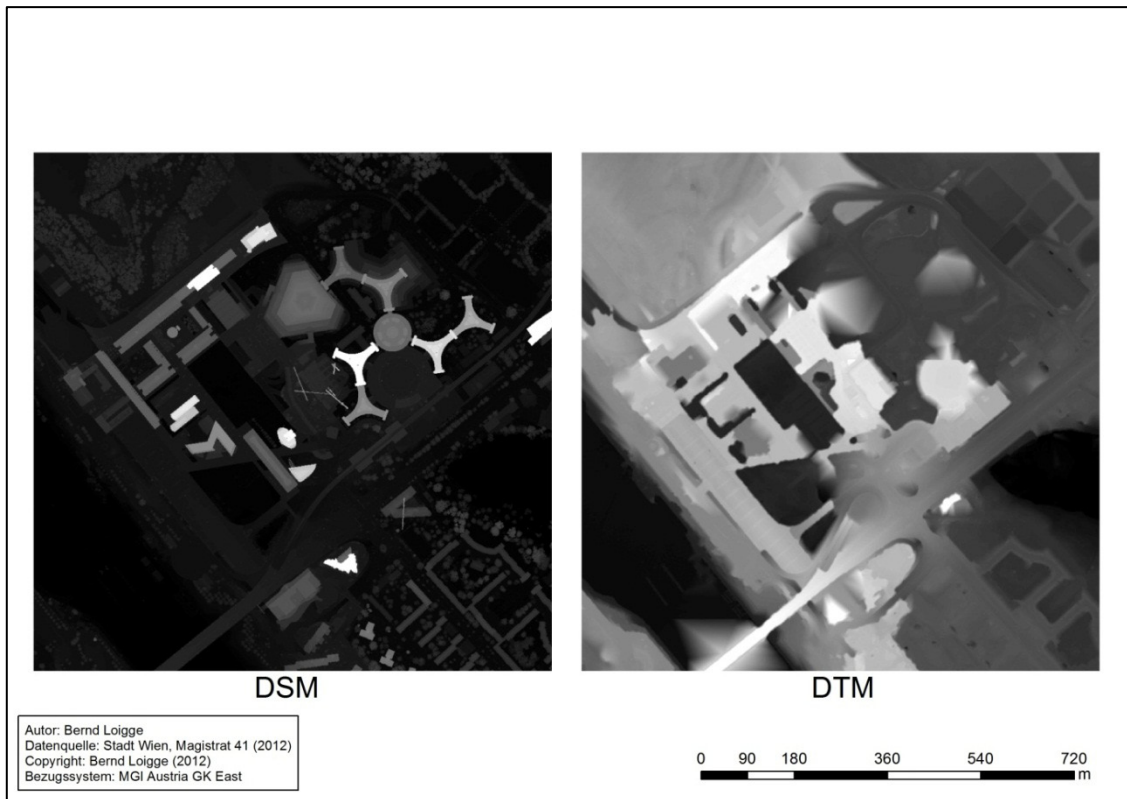


Abb. 34 DSM und DTM für das UG UNO-City (eigene Bearbeitung (2013))

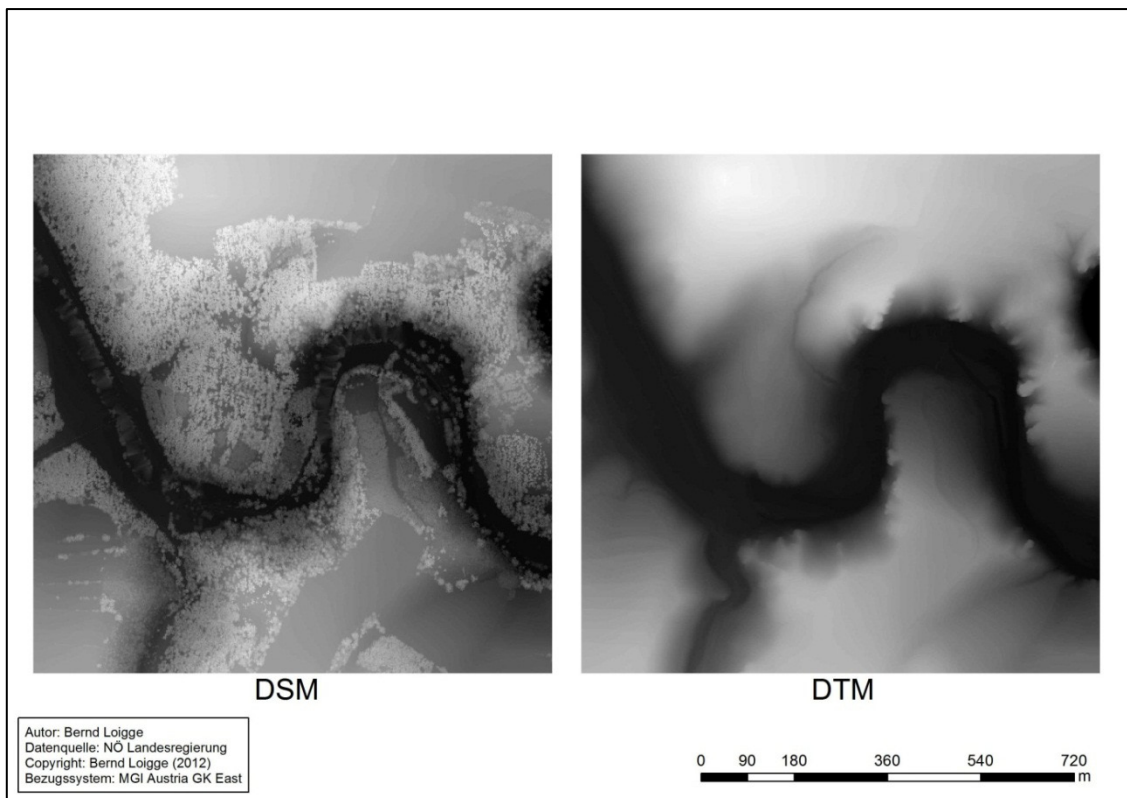


Abb. 35 DSM und DTM für das UG Raabs an der Thaya (eigene Bearbeitung (2013))

5.2.1.2. 2D Gebäudegrundrisse / 2D building footprints

Wie aus **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ersichtlich, benötigt jedes 3D Stadtmodell bereits ab dem höchsten Generalisierungsgrad, also ab der minimalsten Ausführung, als Datengrundlage einen Gebäudegrundriss. Da diese Daten leider nicht zur Verfügung standen, mussten diese selbst generiert werden. Dafür wurde die in ArcGIS als AddOn hinzugefügte Zusatzextension „LiDAR Analyst“ der Firma Overwatch verwendet. Diese Software bietet die Möglichkeit entweder aus rohen LiDAR Daten oder digitalen Rastern die Gebäudegrundrisse voll- bzw. semiautomatisch zu detektieren. Da für das Untersuchungsgebiet UNO-City LiDAR Daten zur Verfügung standen wurden hierzu diese Rohdaten, für das Untersuchungsgebiet Waldviertel das DSM bzw. DTM verwendet.

Zunächst musste aus den bereits in die Geodatenbank geladenen LiDAR Punktdaten LAS Dateien erzeugt werden. Dies wurde einerseits mit der OpenSource Toolbox **lastools** und andererseits mit der Funktion **Convert Text File to LAS File** des LiDAR Analyst durchgeführt. Beide Funktionen lieferten die gleichen Ergebnisse. Da der LiDAR Analyst jedoch weitere Metadaten (Extend, durchschnittliche Punktdichte, Maximal-, Minimal-, Medianhöhenwert, Anzahl der First und Last Responds) erstellte, welche später für weitere Analysen wichtig waren, wurden diese LAS Dateien verwendet. Da man in ArcGIS nicht mit den reinen LAS Dateien arbeiten kann, mussten diese im Catalog in ein **LAS Dataset** geladen werden. Aus den LAS Datasets wurden anschließend TINs mit der Funktion **LAS Dataset to TIN** erstellt. Für das Untersuchungsgebiet Raabs wurden ebenfalls TINs aus den Raster - Dateien mittels der Funktion **Raster to TIN** erstellt. Der nächste Schritt, die Identifikation der Bare Earth, generiert einen „nackten Boden“, was die Grundlage für die Erfassung der Gebäudegrundrisse und für die Detektion der Bäume und Waldflächen darstellt.

„The most important step in achieving optimal results with LIDAR Analyst relies on the integrity of the bare earth layer. The bare earth layer provides the basis for a coherent and clutterfree dataset.” (OVERWATCH (2010), S.86)

Die Erstellung eines Bare Earth Layers beruht dabei auf der Identifikation von Bodenpunkten innerhalb eines Rasters oder eines LAS Datasets. Durch die Bare Earth Extraction werden Gebäude, Bäume, Autos und andere Objekte, welche nicht dem „nackten Boden“ zugeordnet werden können, extrahiert und der Bereich dazwischen wird interpoliert. Natürlich liefern LAS Datasets, welche zwischen einem First und Last Respond differenzieren, die besten Ergebnisse, da so vor allem die Vegetation besser von der Oberfläche differenziert werden kann. Mit der Funktion **Bare Earth Extraction** des LiDAR Analyst wurden die Oberflächen berechnet. Dabei bot die Funktion unterschiedlichste Einstellungsmöglichkeiten, welche verschieden gute Ergebnisse lieferten. In Tab. 42 (Anhang) sind die unterschiedlich durchgeführten Modelldurchläufe für die beiden Untersuchungsgebiete angegeben. Die Erläuterungen der unterschiedlichen Einstellungsmöglichkeiten finden sich in OVERWATCH (2010) ab Seite 85.

Aus den unterschiedlichen Modelldurchläufen wurde der Durchlauf **bareEarth_8_UNO** für die UNO-City und der Durchlauf **bareEarth_1_Raabs** für das Untersuchungsgebiet Raabs als bestgeeignet gewählt. Da das Ergebnis jedoch noch immer nicht zufriedenstellend war, waren weitere manuelle Editiervorgänge notwendig. Der LiDAR Analyst bietet hierzu die Möglichkeit mit Hilfe der Funktion **Create Bare Earth Modification Layer** Bodenpunkte zu erstellen, welche später im Editiermodus in ArcGIS verändert, erzeugt oder gelöscht werden können. Aus der editierten Punktwolke kann dann abschließend wieder mit der Funktion **Process Bare Earth Modification** ein neuer Bare Earth Layer erzeugt werden.

“The bare earth modification layer is a quick way to clean up any areas in the bare earth that were poorly extracted. It allows you to manually add and delete ground points that are used to interpolate elevation values for the bare earth layer.” (OVERWATCH (2010), S.121)

Der fertig erzeugte Bare Earth Layer diente nun zur Identifikation der Gebäudegrundrisse, welche mit der Funktion **Extract Buildings** erstellt wurden. Auch hier bietet der LiDAR Analyst unterschiedliche Parametereinstellungen an, welche in OVERWATCH (2010) auf Seite 146 näher erläutert sind. Abermals wurden mehrere Modellierungen durchgeführt, wobei diesmal das Vorgehen als „Step by Step“ zu sehen ist (Ausgangsmodellierung → Größe der Gebäudeflächen anpassen → Gebäudehöhe anpassen) (siehe Tab. 43 Anhang).

„You can manipulate the extraction parameters to control the building identification process. For example you can set the Minimum area and Minimum Height for tall buildings to lower area values to define sheds and detached garages as buildings. If your imagery contains a mixture of buildings and forests, you can change the Minimum difference between returns for trees to 0.1 or 0.2 (only works with first and last return images).“ (OVERWATCH (2010), S.153).

Da auch hier geringe Mängel festgestellt werden konnten, war abermals ein geringes Nacheditieren nötig, welches mit Hilfe des Editors in ArcGIS durchgeführt wurde. Das Ergebnis stellte die Gebäudegrundrisse als Polygonfeatures dar. In Abb. 36 ist der Workflow und in Abb. 37 das Ergebnis der Extraktion und einzelne Zwischenschritte veranschaulicht.

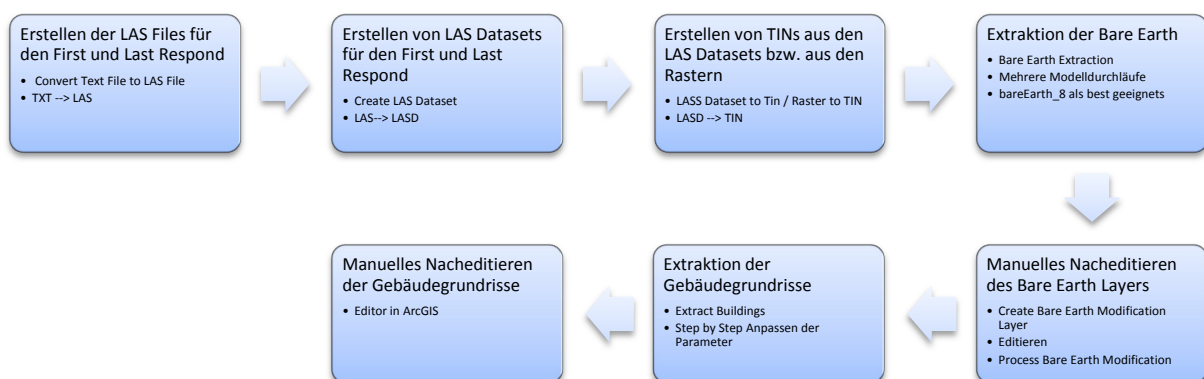


Abb. 36 Workflow zur Extraktion der Gebäudegrundrisse (eigene Bearbeitung (2013))

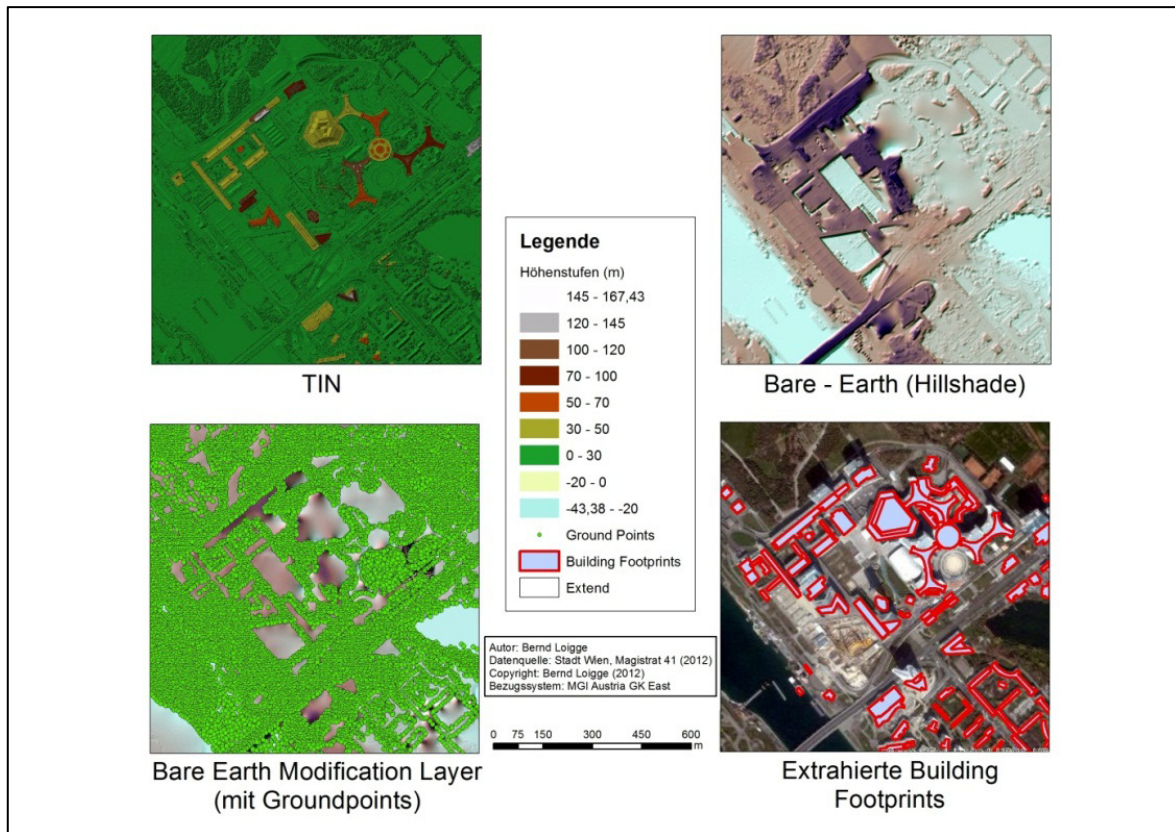


Abb. 37 Extraktion der Gebäudegrundrisse / building footprints am Beispiel UNO-City mit Zwischenschritten (eigene Bearbeitung (2013))

Für eine bessere Veranschaulichung und Interpretation wurden abschließend Hillshades, aus den LAS bzw. Raster Dateien für das DSM und DTM mit der Funktion **Hill-Shade and Relief** des LiDAR Analyst, erstellt.

Die Extraktion der Gebäude stellte bei beiden Untersuchungsgebieten eine gewisse Herausforderung dar. Im urbanen Raum war es zum Teil sehr schwierig die echte Anzahl an Gebäuden zu erfassen, da kleinste Veränderungen der Parametereinstellungen eine große Auswirkung auf die Anzahl hatte. Im ländlichen Raum war es ebenfalls zum Teil schwierig, da nur eine geringe Anzahl an kleinen Gebäuden vorhanden war. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Extraktion der Gebäude prinzipiell sehr gut funktioniert, jedoch von der Funktionalität her semiautomatisch bleibt und ein manuelles Nacheditieren unabdingbar ist.

5.2.1.3. 2D Vegetationsdaten / 2D vegetation features

Ähnlich wie bei der Extraktion der Gebäudegrundrisse, musste auch bei der Ermittlung der Vegetation der Bare Earth Layer als Eingangsdatengrundlage verwendet werden. Bei der Extraktion der Vegetation kann der LiDAR Analyst zwischen punkthafter Vegetation (Bäume, Sträucher etc.) und flächenhafter Vegetation (Wald, Strauchlandschaft etc.) unterscheiden.

„Depending on your dataset, you can choose to extract just trees, forested areas, or both. To extract trees, LIDAR Analyst detects and isolates points in specific areas of an image. The resulting trees layer is a 3D shapefile (not a raster image)” (OVERWATCH (2010), S.158).

Über die Funktion **Extract Trees** wurden die Bäume und Waldflächen extrahiert. Auch hier bietet der LiDAR Analyst unterschiedliche Parametereinstellungen an, welche in Overwatch (2010) ab Seite 158 näher erläutert sind. Abermals wurden mehrere Modellierungen durchgeführt und es wurde wieder im „Step by Step“ Verfahren vorgegangen (Ausgangsmodellierung → Größe und Höhe der Bäume anpassen → Größe der Waldflächen anpassen) (siehe Tab. 44 Anhang).

Auch bei diesem Analyseschritt musste anschließend geringfügig editiert werden. In Abb. 38 ist der Workflow und in Abb. 39 die Ergebnisse für das Untersuchungsgebiet Raabs dargestellt.

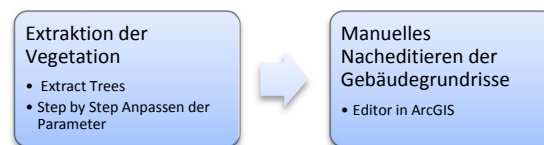


Abb. 38 Workflow zur Extraktion der Vegetation - Bäume / Waldflächen (eigene Bearbeitung (2013))

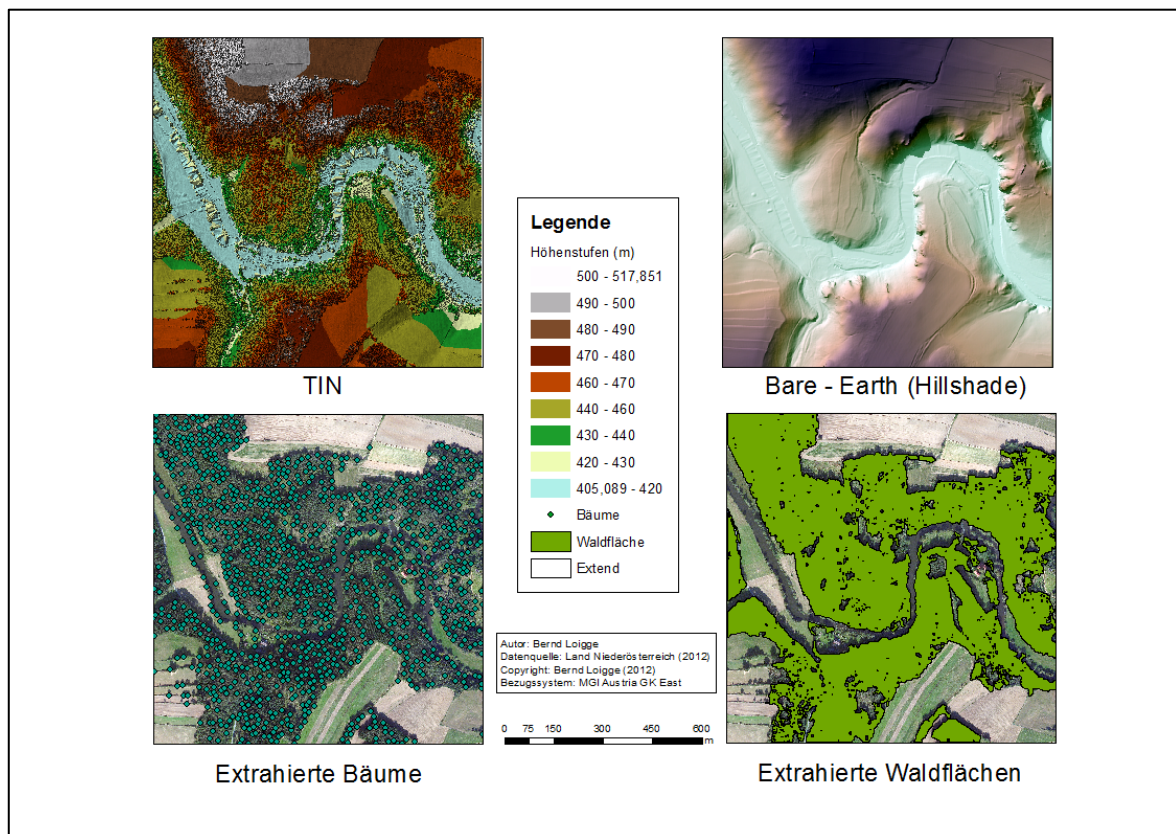


Abb. 39 Extraktion der Vegetation am Beispiel Raabs an der Thaya mit Zwischenschritten (eigene Bearbeitung (2013))

Für eine bessere Veranschaulichung und Interpretation wurden abschließend Contour-Lines, aus den LAS bzw. Raster Dateien für das DSM und DTM mit der Funktion **Extract Contour-Lines** des LiDAR Analyst, erstellt.

„Contour lines join points of equal elevation. Depending on how close and far apart the lines are, you can infer the steepness of the terrain that the contours represent. Contours lines are useful for defining drains and sinks in terrain.“ (OVERWATCH (2010), S.164).

5.2.2. Berechnung der Gebäudehöhen

Zur Berechnung der Gebäudehöhen können unterschiedliche Datenquellen, welche eine Höheninformation besitzen, herangezogen werden. Jedoch kann die Genauigkeit der Berechnung der Gebäudehöhen je nach Datenquelle zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. So schreiben YU ET AL. (2010), dass die Berechnung der Gebäudehöhen aus der digitalen Photogrammetrie oft fehlerbehaftet ist, da Schattenbildungen, die Auflösung der Aufnahme und anderen vom Menschen erzeugte Objekte eine exakte Berechnung schwierig machen. Wie bereits in Kapitel 4.3.3. erwähnt, sind auch LiDAR Daten nie ohne Fehler und so können Abweichungen von bis zu 10 Metern und mehr erreicht werden. Als Datengrundlage für diesen Teil werden jedoch die zur Verfügung gestellten LiDAR Daten verwendet.

In Abb. 40 ist der Modellierungsvorgang abgebildet, welcher durch ein Model in einer ArcGIS Toolbox umgesetzt wurde. In Tab. 30 sind die einzelnen Analyseschritte beschrieben.

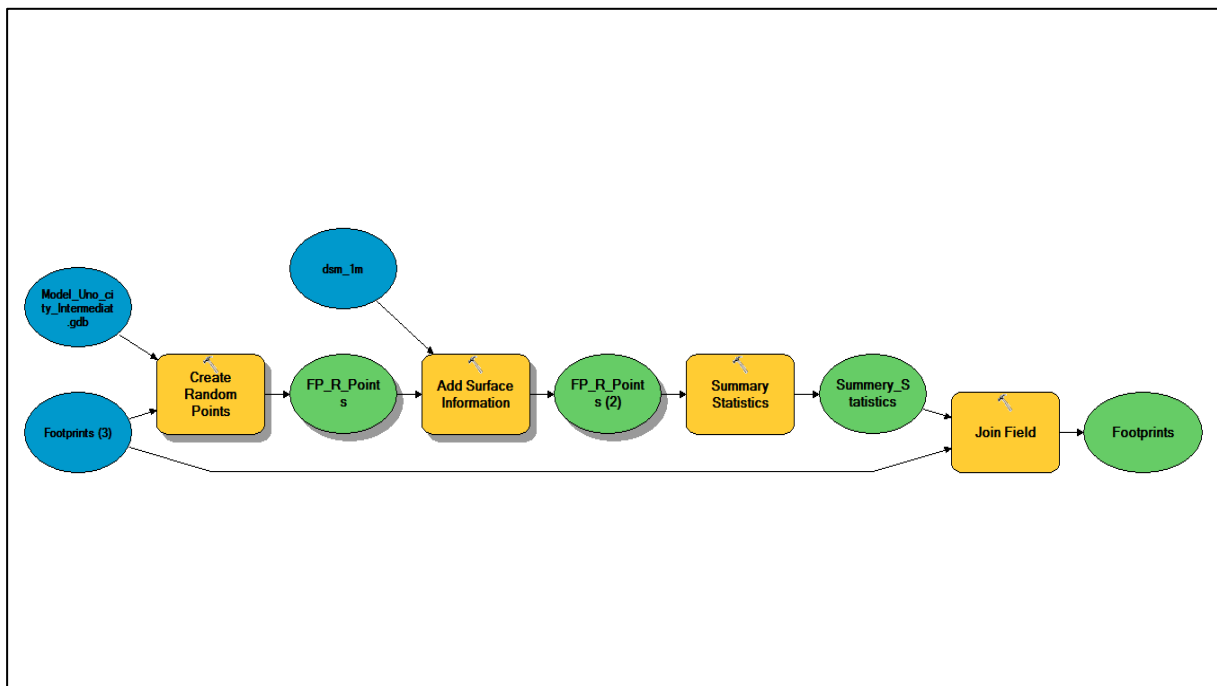


Abb. 40 Berechnung der Gebäudehöhen (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))

Tab. 30 Analyseschritte zur Berechnung der Gebäudehöhen (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2012))

Create Random Points	Erstellen von zufälligen Punkten innerhalb der Footprint Polygon Flächen <i>Parameter:</i> • Input Constraining Feature Class: Footprints • Number of Points [value or field]: 1000 (Anzahl der Punkte welche zufällig generiert werden sollen) • Minimum Allowed Distance [value or field]: 1 Meter (Die kürzeste Distanz zwischen zwei erstellten Punkten)
Add Surface Information	Hinzufügen von Höheninformation zu einem Punkt-, Linien oder Polygon Feature. Dabei werden alle Features als zweidimensional behandelt. Die ausgewählten Optionen für die Ausgabe Eigenschaften werden in die Attributtabelle der Eingabe Feature Class geschrieben. <i>Parameter:</i> • Input Surface: DSM (generiert aus den LiDAR Daten) • Output Property: Z (Interpolierter Höhenwert für jeden der erzeugten Punkte) • Methode: Bilinear
Summary Statistics	Berechnung der Summenstatistik für die Felder einer Tabelle. Im Beispiel wird nun die Maximale Höhe innerhalb der Grundrissflächen berechnet. • Statistic Field: Z (Jenes Feld für welches die Summenstatistik durchgeführt wird) • Statistic Type: MAX (Auswahl des größten Wertes innerhalb der Footprintflächen → Gebäudehöhen)
Join Field	Zusammenfügen der berechneten Gebäudehöhen mit den Grundrissflächen. • Input Table: Footprints • Join Table: Summary_Statistics • Join Fields: MAX_Z (Gebäudehöhen)

5.2.3. Umwandlung von 2D Linien in 3D Linien

Da die zur Verfügung stehenden Straßendaten (nur für das Untersuchungsgebiet UNO-City) in zweidimensionaler Form vorlagen, mussten diese dem Terrain angepasst werden um auf diesem aufzuliegen.

In Abb. 41 ist der Modellierungsvorgang abgebildet, in Tab. 31 sind die einzelnen Analyseschritte beschrieben.

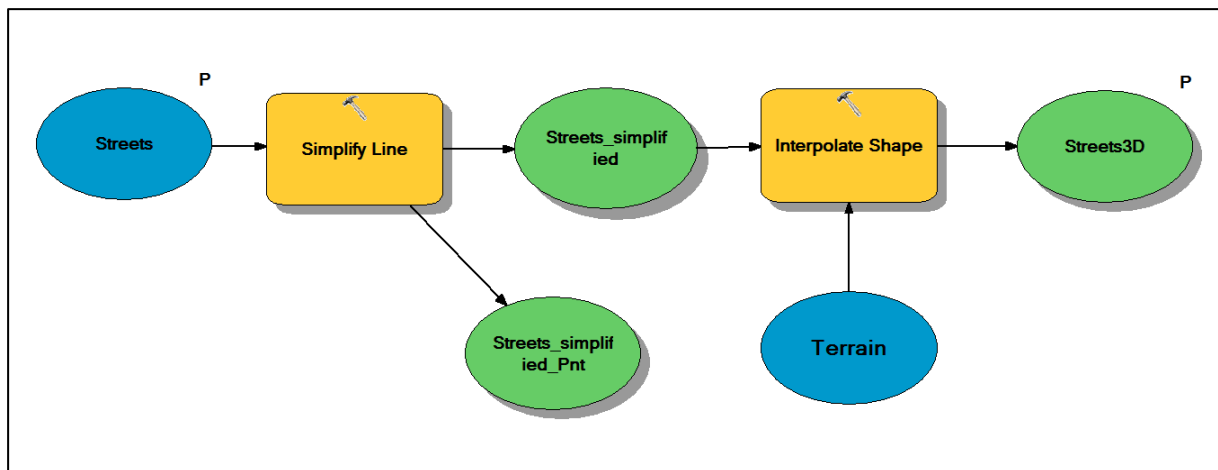


Abb. 41 Berechnung der 3D Straßenfeatures (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))

Tab. 31 Analyseschritte zur Berechnung der 3D Straßenfeatures (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))

<i>Simplify Line</i>	In diesem Schritt werden Linien durch Entfernen unwesentlicher Biegungen vereinfacht, wobei jedoch die wesentliche Form beibehalten wird. • Input Feature Classe: Straßendaten Wien • Simplification Algorithm: POINT_REMOVE (Entfernen von überflüssigen Stützpunkten um eine entsprechende Datenkomprimierung zu erreichen)
<i>Interpolate Shape</i>	Diese Funktion interpoliert Z-Werte für die Straßen auf der Grundlage des Terrain-Datasets. • Input Feature Class: Simplified Straßendaten Wiens • Input Surface: Terrain Dataset (aus den LiDAR Daten generiert) • Methode: NATURAL_NEIGHBORS

5.2.4. Umwandlung von 2D Punkte in 3D Punkte

Ähnlich dem Umwandeln der 2D Linien in 3D Features, wurde auch beim Erstellen der 3D Punkte für die punkthafte Vegetation (Bäume) vorgegangen (siehe Abb. 42 & Tab. 32).

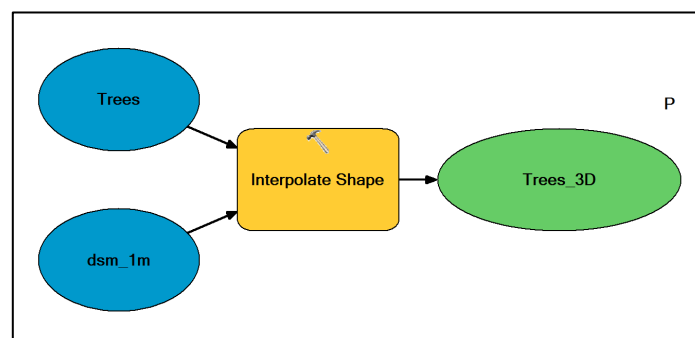


Abb. 42 Berechnung der 3D Punktfeatures (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))

Tab. 32 Analyseschritte zur Berechnung der 3D Punktfeatures (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))

Interpolate Shape	Diese Funktion interpoliert Z-Werte für die Bäume auf der Grundlage des DSM. • Input Feature Class: ermittelte Bäume • Input Surface: DSM (aus den LiDAR Daten generiert) • Methode: NATURAL_NEIGHBORS (Z-Werte der Vertices der Straßen wurde flächenbezogen auf die natürlichen Nachbarn gewichtet)
--------------------------	--

5.2.5. Umwandlung von 2D Polygone in 3D Polygone

Die Umwandlung der 2D Polygonflächen (Waldflächen und Gebäudegrundrisse) ist weitaus komplexer als die der Linien bzw. Punktfeatures. Wie auch bereits bei der Berechnung der Gebäudehöhen, wird in diesem Schritt mit Hilfe von Punkten die Höhe des Geländes nachberechnet. Zusätzlich wird noch eine Buffer-Linie um die Gebäude berechnet, damit der nächste Schritt, das „Einbrennen“ der Gebäudegrundrisse in das Terrain, anschaulicher und glatter ist (siehe Abb. 43 und Tab. 33).

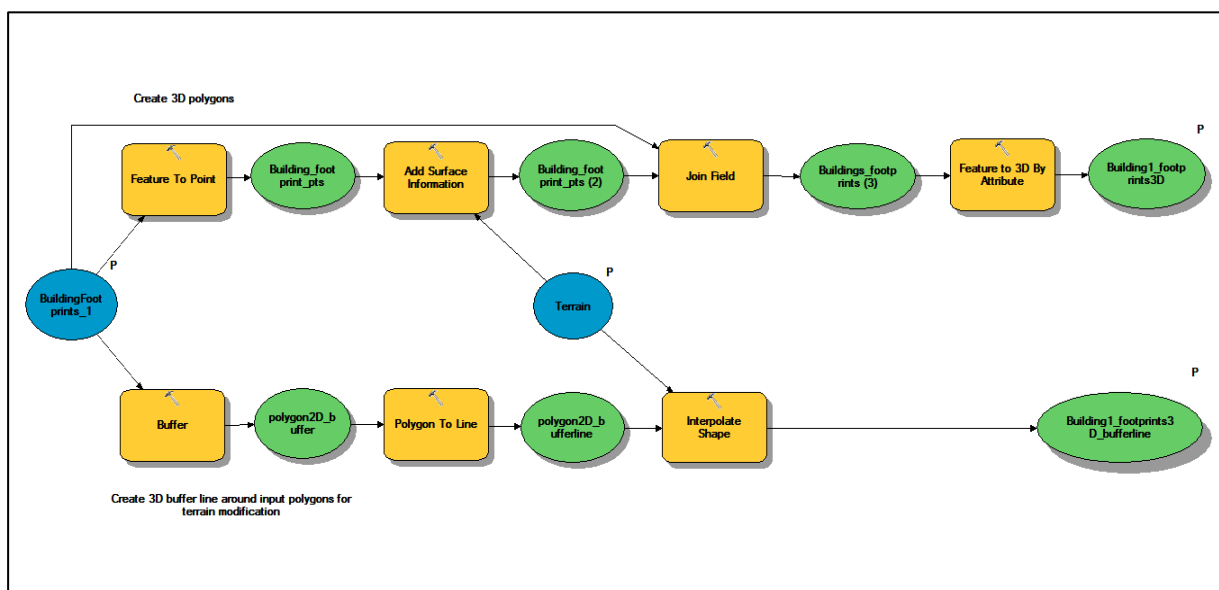


Abb. 43 Berechnung der 3D Polygonfeatures und der 3D Buffer - Linien (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))

Tab. 33 Analyseschritte zur Berechnung 3D Polygonfeatures und der 3D Buffer - Linien (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))

1) 3D Polygonflächen	
Feature To Point	Erstellen eines Punktes aus den Gebäudegrundriss-Polygonen. • Input Feature: Footprints
Add Surface Information	Hinzufügen von Höheninformation zu einem Punkt-, Linien oder Polygon Feature. Dabei werden alle Features als zweidimensional behandelt. Die ausgewählten Optionen für die Ausgabe Eigenschaften werden in die Attributtabelle der Eingabe Feature Class geschrieben. <i>Parameter:</i> • Input Surface: Terrain (DTM) (generiert aus den LiDAR Daten) • Output Property: Z (Interpolierter Höhenwert für jeden der erzeugten Punkte) • Methode: Bilinear
Join Field	Zusammenfügen der berechneten Geländehöhe mit den Grundrissflächen. • Input Table: Footprints • Join Table: Summary_Statistics • Join Fields: Z (Geländehöhe)
Feature to 3D By Attribute	Bei dieser Funktion werden 3D Polygone aus den Höhenwerten des Geländes berechnet. • Height Field: Z
2) 3D Buffer - Linien	
Buffer	Erstellt einen Buffer um Polygone. • Linear Unit: 3 Meter (Abstand des Buffers um das jeweilige Polygon) • Dissolve Type: NONE (Für jedes Polygon wird ein individueller Buffer generiert)
Polygon To Line	Umwandlung der Polygonflächen der Buffer in Linien.
Interpolate Shape	Diese Funktion interpoliert Z-Werte für die Buffer - Linien auf der Grundlage des Terrain-Datasets. • Input Feature Class: Buffer - Linien • Input Surface: Terrain Dataset (aus den LiDAR Daten generiert) • Methode: NATURAL_NEIGHBORS (Z-Werte der Vertices der Straßen wurde flächenbezogen auf die natürlichen Nachbarn gewichtet)

5.2.6. "Einbrennen" der Polygone in das DTM

Der letzte Schritt der Modellerstellung hat als Ziel die erstellten 3D Footprints inkl. Buffer - Linien in das DTM zu integrieren („einzubrennen“). Hierzu musste zunächst das TIN des DTM kopiert werden und anschließend wurde dieses durch **Edit TIN** mit der neuen Information manipuliert (siehe Abb. 44 und Tab. 34).

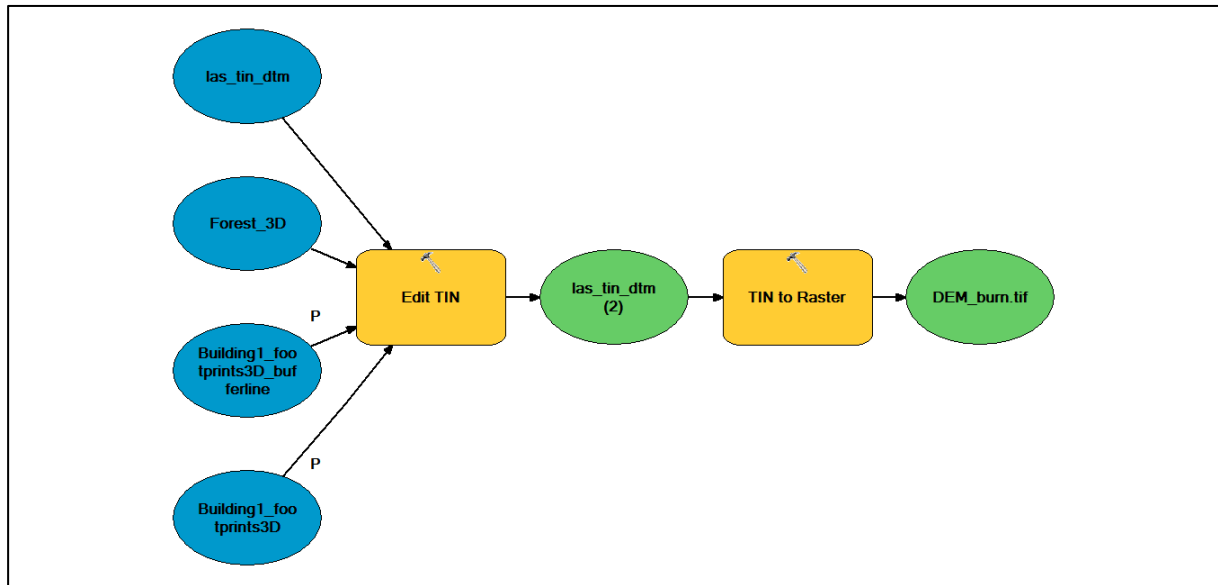


Abb. 44 „Einbrennen“ der 3D Polygonfeatures und der 3D Buffer - Linien in das DTM (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))

Tab. 34 Analyseschritte beim „Einbrennen“ der 3D Polygonfeatures und der 3D Buffer - Linien in das DTM (nach ESRI (2012) & eigene Bearbeitung (2013))

Edit TIN	Diese Funktion fügt zusätzliche Informationen, welche das DTM beschreiben hinzu. Im Konkreten Fall werden die 3D Gebäudegrundrisse und die Buffer - Linien in das Terrain-Modell integriert. • Input TIN: tincopy • Input Feature Class 1: 3D Bufferline ○ SF_type: Hard_Line ○ use_z: true ○ height_field: SHAPE • Input Feature Class 2: 3D Footprints ○ SF_type: Hard_Replace ○ use_z: true ○ height_field: SHAPE • Input Feature Class 3: 3D Forrest ○ SF_type: Hard_Replace ○ use_z: true ○ height_field: SHAPE
TIN to Raster	Umwandeln des TINs in ein Raster damit dieses anschließend im

	fertigen Modell als Oberfläche visualisiert werden kann. • Input TIN: modifiziertes tincopy • Output Data Type: FLOAT • Method: LINEAR • Sampling Distanze: CELLSIZE 1 (Meter) (Größe der einzelnen Rasterzellen) • Z Factor: 1 (Faktor um welchen die Rasterwerte multipliziert werden, falls Überhöhungen berechnet werden sollen)
--	--

5.2.7. Importieren von 3D Dateien und Fertigstellung

Eine neue Möglichkeit des 3D Analyst stellt die Funktion **Import 3D Files** dar. Mit dieser Funktion können 3D Modelle (vorzugsweise Gebäude), welche von anderen Programmen erstellt wurden in ein Multipatch Feature umgewandelt und in eine Geodatenbank integriert werden. ArcGIS unterstützt unterschiedliche Dateiformate wie 3D Studio Max (3DS), VRML und GeoVRML 2.0 (WRL), SketchUp 6.0 (SKP), OpenFlight 15.8 (FLT), COLLADA (DAE) sowie Billboards (PNG, JPEG, BMP, TIFF, GIF usw.) (nach ESRI (2013d)).

Da es sich aufgrund des ländlichen Charakters für das Untersuchungsgebietes Raabs nicht anbot zusätzliche Gebäude zu integrieren, wurde diese Funktion nur am Modell der UNO-City getestet. Hierzu wurden zwei gratis zur Verfügung stehende SKP Dateien welche von <http://sketchup.google.com> bezogen wurden, integriert. Bei den Gebäuden handelt es sich um den Hauptkomplex der UNO-City und um ein angrenzendes Hochhaus (Hochhaus „Neue Donau“). Da die importierten SKP keine Georeferenzierung aufweisen, mussten die Gebäude nach dem Importieren noch manuelle verortet werden.

Als finaler Schritt wurden, die in den letzten Kapitel beschriebenen und modellierten Dateien (3D Straßendaten, 3D Vegetation (Bäume und Wald), 3D Gebäudegrundrisse, DTM und die zusätzlich importierten 3D Dateien), in ein neues ArcScene Projekt geladen. Um die Gebäude in dreidimensionaler Form darstellen zu können, wurde diese mittels der Funktion **Extrude features in Layer**, welche sich in den Properties der 3D Gebäudegrundrisse befindet, „hochgezogen“. Als **Extrusion value or expression** wurde der in Kapitel 5.4.2. berechnete **MAX_Z** Wert verwendet.

In Abb. 45 ist das Ergebnis des UG UNO-City und in Abb. 46 das Ergebnis des UG Raabs visualisiert.

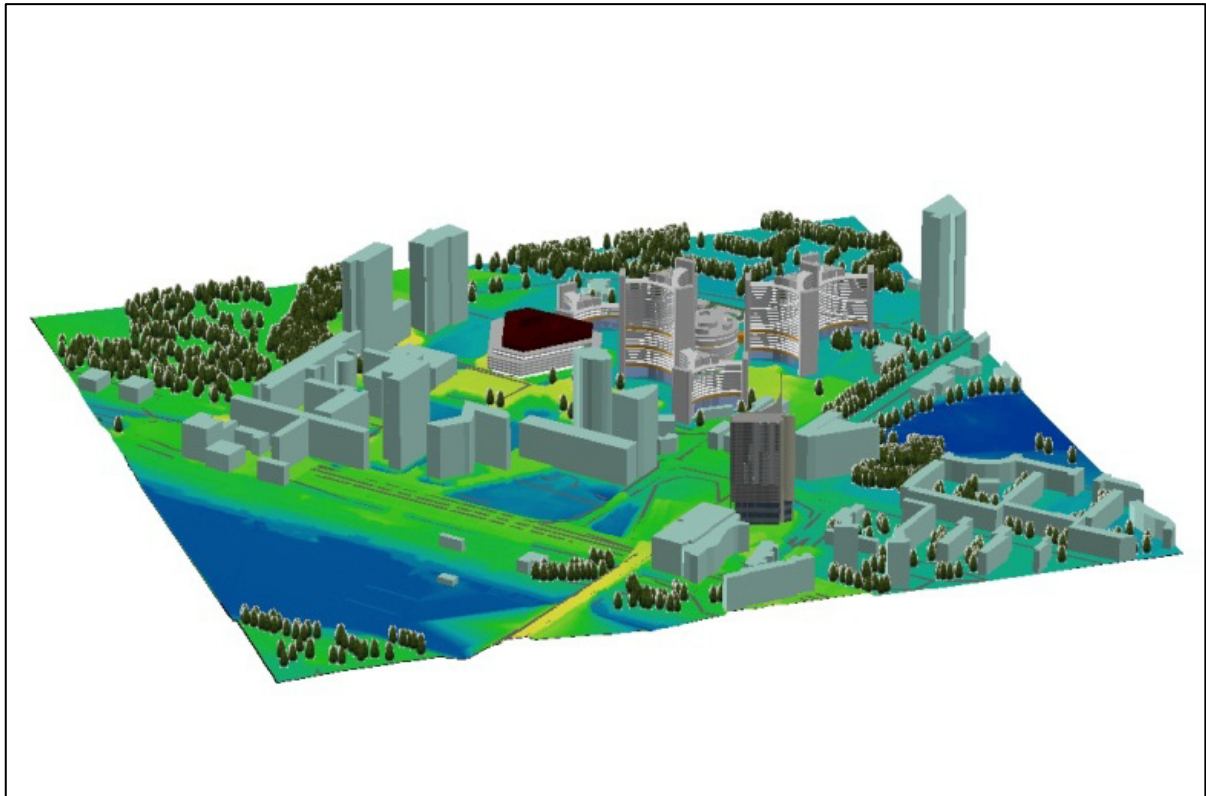


Abb. 45 3D Modell des UG UNO-City (eigene Bearbeitung (2013))

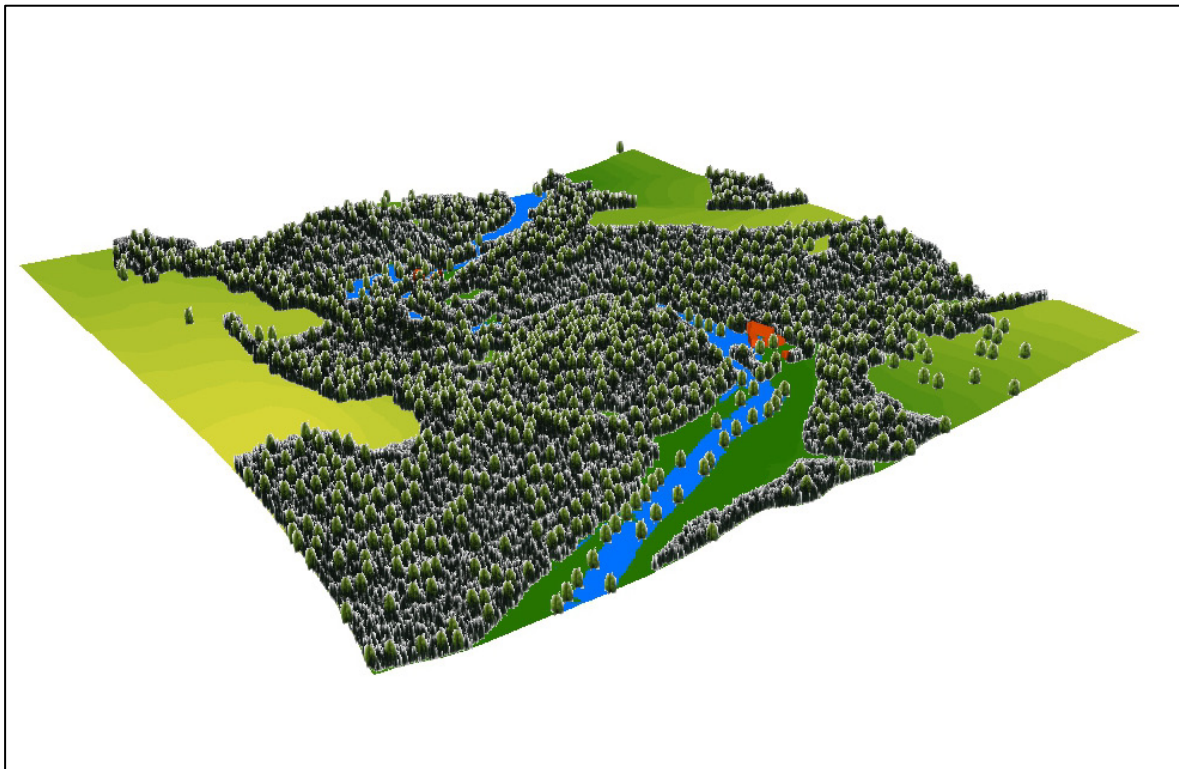


Abb. 46 3D Modell des UG Raabs (eigene Bearbeitung (2013))

6. Praktische Anwendungen von 3D GIS Analysen

Wie auch in der 2D Geoinformation stellen Analyse- und Editierfunktionen die Hauptanwendungsbereiche eines 3D GIS dar. Jedoch ist die Verarbeitung der Daten, aufgrund der zusätzlichen Dimension, deutlich komplexer. So schreibt LEE (2008), dass Analysetools für Fragestellungen im dreidimensionalen Raum deutlich aufwendigere Algorithmen verlangen und eine nötige Rechenleistung gegeben sein muss, um verwertbare Ergebnisse zu erhalten. Zudem müssen die analysierten 3D Datenmodelle valide und gut strukturiert im Aufbau sein. LEE schreibt außerdem, dass für verschiedene Fragestellungen unterschiedliche Grundlagenmodelle in differenten Generalisierungsgraden vorliegen müssen. So weist ein 3D Datenmodell, welches für Analysen im Bereich der Geologie oder physischen Geographie eingesetzt wird, nicht jene Performance im Bereich der Visualisierung auf, wie dies beispielsweise ein 3D Stadtmodell zur Navigation tut. Auf der anderen Seite hat ein 3D Modell aus der Geologie deutlich mehr Information über Oberflächenbeschaffenheit etc. als dies ein Stadtmodell hat.

3D Analysen können nach LEE (2008) in drei unterschiedliche Kategorien eingeteilt werden:

- I. *„Abfrageanalyse für 3D Visualisierungen*
- II. *Analytische Abfragen*
- III. *Performanceanalysen (3D Routenberechnungen, 3D Nachbarschaftsbeziehungen etc.)“*

Als Beispiele führt Lee (2008) unterschiedliche Fragestellungen an, welche durch diese Analysetools beantwortet werden können:

- *„Geologie - „Welche kambrischen Diskordanzen zerschneiden den permischen Kalkstein“, „Welche Gesteine wird meine Bagger durchgraben müssen, wenn ich einen Tunnel einer gewissen Dimension graben möchte?“*
- *Raumplanung - „Wie viele Gebäude befinden sich im Umkreis von x Kilometer?“, „Welche Sichteinschränkung wird es durch die Errichtung eines neuen Gebäudes für bereits bestehende Gebäude geben?“*
- *Ingenieurwesen - „Wie viele Tunnel wird das Objekt besitzen?““*

In diesem Kapitel werden zunächst die unterschiedlichen Funktionen des ArcGIS 3D Analyst vorgestellt. Danach wird auf die Funktionsweise der einzelnen Tools und Limitierungen eingegangen. Um die Möglichkeiten der Funktionen besser verstehen zu können, werden diese durch praktische Anwendungsbeispiele erklärt.

6.1. Funktionen des ArcGIS 3D Analyst

„Die Erweiterung „ArcGIS 3D Analyst“ enthält Werkzeuge für die dreidimensionale Erstellung, Visualisierung und Analyse von GIS-Daten“ (ESRI (2013e)). Zur Visualisierung von dreidimensionalen Daten erhalten die Nutzer die beiden Viewer ArcGlobe und ArcScene. Diese können vom Nutzer, zum Teil eingeschränkt, ebenso zur Durchführung von Analysen verwendet werden.

ArcGlobe bietet die Möglichkeit umfangreiche Daten zu organisieren und gleichzeitig Informationsabfragen durchzuführen, welche die Daten enthalten. Es können Daten mit räumlichen Referenzen auf der 3D Globusoberfläche georeferenziert dargestellt werden. Obwohl ArcGlobe auch bestimmte Analyseabfragen zulässt, ist dieser Viewer besonders für Präsentationen und Überblicksdarstellungen von globalen Inhalten geeignet. ArcScene verwaltet 3D Geodaten und kann, wie auch im ArcMap 3D Analysen durchführen. Seit der Version 10.1 ist außerdem auch die Erstellung und Generierung von 3D Features innerhalb von ArcScene möglich. Die Geodaten werden in diesem Viewer innerhalb einer planimetrischen 3D Ansicht dargestellt (nach ESRI (2013e)). In Abb. 47 und Abb. 48 sind die beiden Interfaces dieser Viewer abgebildet.

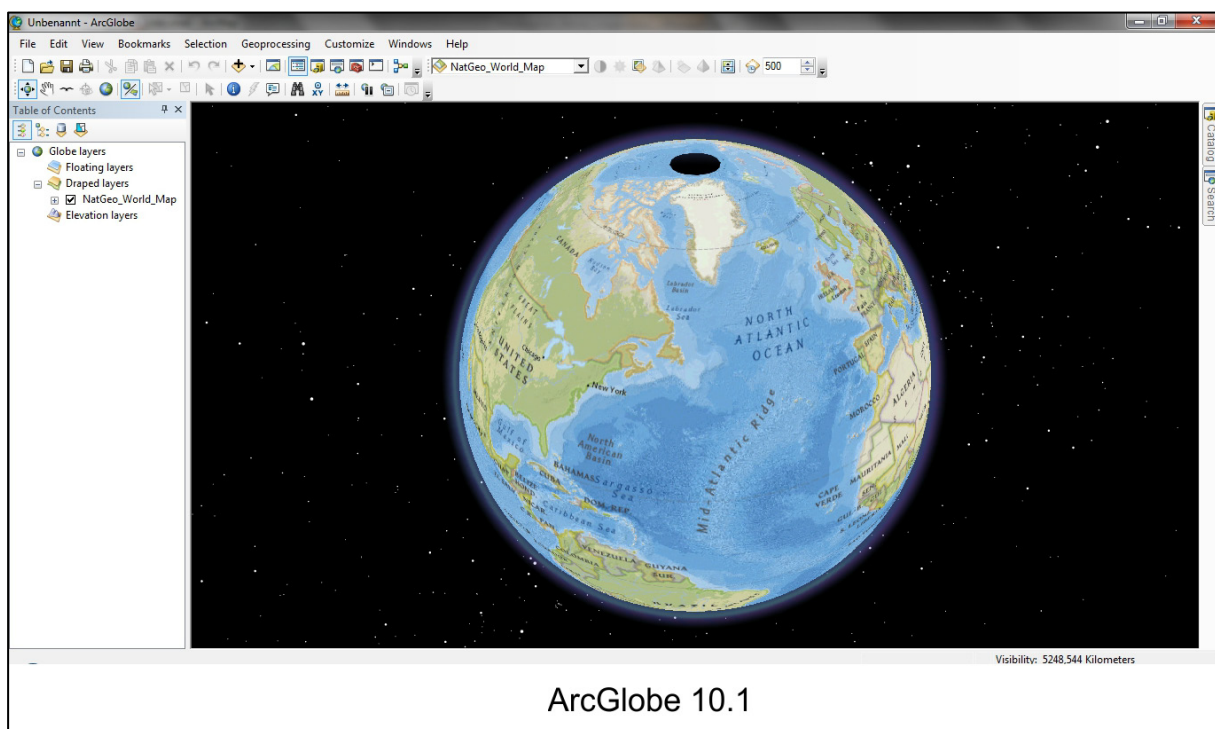


Abb. 47 Das Interfaces von ArcGlobe 10.1 (eigene Bearbeitung (2013))

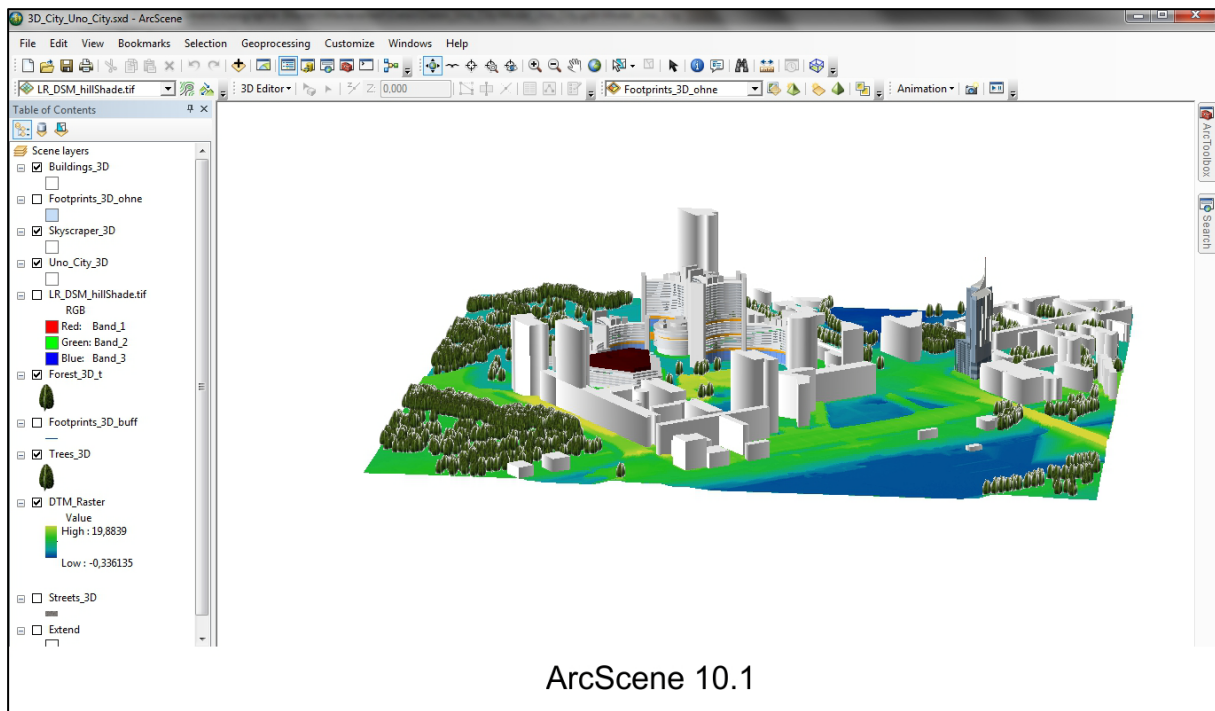


Abb. 48 Das Interfaces von ArcScene 10.1 (eigene Bearbeitung (2013))

Mit Hilfe des 3D Analyst lassen sich unterschiedliche Fragestellungen behandeln. So können neben Entfernungsmessungen oder analytischen 3D Fragen wie beispielsweise „Welche Auswirkungen hat ein vorgeschlagenes Gebäude auf vorhandene Ansichten?“ auch Fragen die Neigung und Exposition von Oberflächen betreffend beantwortet werden. Zudem bietet der Analyst auch die Möglichkeit gebäudeinterne Netzwerkanalysen durchzuführen oder Konturlinien von Oberflächen zu erstellen (nach Esri (2013e)).

Auf die Funktionen des 3D Analyst kann der Nutzer durch zwei unterschiedliche Wege zugreifen. Zum einen können die Analysewerkzeuge über die interaktive 3D Analyst Toolbar und zum anderen über die 3D Analyst Toolbox aufgerufen werden.

Die Toolbar bietet sieben unterschiedliche Werkzeuge an, welche für Tin-, Terrain-, LAS- oder Raster-Datasets verwendet werden können. In Abb. 49 und Tab. 35 sind die Toolbar und deren Funktionen abgebildet und erläutert.



Abb. 49 Interaktive Toolbar des 3D Analyst (eigene Bearbeitung (2013))

Tab. 35 Erläuterungen der Funktionen der interaktiven Toolbar des 3D Analyst (aus ESRI (2013f)).

Funktion	Erläuterung
 Konturlinien erstellen / Create Contour	• Erstellt Linien gleicher Höhenwerte (Konturen) • Anwendbar bei Raster-, TIN-, LAS- oder Terrain- Datasets
 Steilste Verbindung erstellen / Create Steepest Path	• Berechnet Fließmuster eines Oberflächenmodells • Kann zur Bewertung der Integrität eines Oberflächenmodells verwendet werden → Aufspüren von Unregelmäßigkeiten in einem Geländemodell • Anwendbar bei Raster-, TIN-, LAS- oder Terrain- Datasets
 Sichtlinie erstellen / Create Line of Sight	• Berechnung von Sichtfeldeinschränkungen entlang einer vom Nutzer gezeichneten Linie • Variable Höhe einstellbar (des Beobachters und des Ziels) Observer offset bzw. Target offset • Unterschiedliche Farbgebung symbolisiert ob ein Teilbereich eingesehen werden kann oder nicht (rot → nicht einsehbar; grün → einsehbar) • Anwendbar bei Raster-, TIN-, LAS- oder Terrain- Datasets
 Interpolation von Punkt-, Linien- & Flächeninformation / Interpolate Point-, Line- & Polygoninformation	• Erzeugen von 3D Features auf Basis von Raster-, TIN-, oder Terrain- Datasets • Schnelles Erstellen von Features mit Oberflächeninformation • Ungeeignet jedoch für größere Flächen da die Z Werte da das Innere der Fläche interpoliert wird
 Profildiagramm erstellen / Create Profile	• Erzeugen von Profilen, welche die Änderung der Höhe einer Oberfläche entlang einer Line oder entlang von Punkten (→ Punkprofil oder Terrain Punkprofil) angibt • Profile können für Analyseergebnisse erstellt werden (Konturlinien, Steilste Verbindungen, Sichtlinien) • Anwendbar bei Raster-, TIN-, oder Terrain- Datasets

Die Toolbox des 3D Analyst bietet eine Reihe von Geoprocessing Tools. Mit diesen können analytische Fragen beantwortet und Datenmanagement- und Datenumwandlungsoperationen durchgeführt werden. Als Datengrundlage können Oberflächenmodelle unterschiedlichster Art und dreidimensionale Vektordaten herangezogen werden. Die Toolbox untergliedert sich in zehn unterschiedliche Toolsets, welche in Tab. 36 erläutert werden.

Tab. 36 Erläuterungen der Funktionen der Toolbox des 3D Analyst (aus Esri (2013f)).

Funktion	Erläuterung
3D Features	• Sammlung von Werkzeugen zum Auswerten von geometrischen Eigenschaften • Nachbarschaftsverhältnisse und Beziehungen von dreidimensionalen Features können ausgewertet werden
Konvertierung / Conversion	• Enthält Werkzeuge mit denen Feature Klassen, Raster-, TIN-, LAS- oder Terrain- Datasets in andere Datenformate konvertiert werden können
Data Management	• Enthält Werkzeuge zum Erstellen und Verwalten von Terrain-, TIN- und LAS-Datasets
Oberflächenfunktionen / Functional Surface	• Bietet Analysewerkzeuge zur Auswertung von Höheninformationen aus Raster-, Terrain- und TIN-Oberflächen
Raster-Interpolation	• Interpolationswerkzeuge zur Erstellung von Raster-Oberflächen • Unterschiedliche Inputdaten zur Generierung möglich
Raster Math.	• Enthält Werkzeuge zum Durchführen von mathematischen Operationen für Raster-Datasets
Raster Reclass	• Enthält Werkzeuge mit denen Raster-Daten reklassifiziert werden können
Raster Oberfläche / Raster Surface	• Bietet Analysewerkzeuge zur Bestimmung von Eigenschaften von Raster-Oberflächen • Berechnung von Konturen, Neigungen, Ausrichtung und Schummerung oder Differenzberechnungen
Triangulierte Oberflächen / Triangulated Surface	• Bietet Analysewerkzeuge zur Bestimmung von Oberflächeneigenschaften von Terrain-, TIN- und LAS-Datasets • Konturlinien, Expositionsbestimmungen, Neigungsanalysen oder Volumenberechnungen
Sichtbarkeit / Visibility	• Enthält Werkzeuge für Sichtbarkeitsanalysen • Unterschiedliche Integration von Beobachter-Features und Quellen von Hindernissen möglich

6.2. Die 3D Analyst Toolbar

In diesem Kapitel werden nun die einzelnen Funktionen der 3D Analyst Toolbar erklärt. Für ein besseres Verständnis werden diese anhand von selbst ausgedachten praktischen Beispielen vorgeführt. Zunächst werden verschiedene Forschungsfragen definiert, welche dann mit Hilfe der Funktionen gelöst werden. Am Ende werden die Ergebnisse präsentiert und es wird eine subjektive Bewertung über die Möglichkeiten und Limitierungen der Tools gegeben.

6.2.1. Konturlinien erstellen / Create Contour

Unter Konturlinien werden Linien verstanden, deren mathematische Funktion eine Kurve beschreibt, welche einen konstanten Wert hat (nach COURANT et al. (1996), S.344). Diese Isolinien (Linien gleichen Wertes) sind in der Geoinformation Linien gleicher Höhe über einem bestimmten Niveau. In der Kartographie werden Konturlinien für die Darstellungen des Reliefs verwendet und werden dort als Höhenschichtlinien bezeichnet. Diese Information dient dem Kartennutzer als zusätzliche Orientierungshilfe. Verfolgt man eine Konturlinie, so kann man bestimmen, welche Positionen denselben Wert haben.

Anwendungsbeispiel "Konturlinie erstellen"

Frage-stellungen	a) Hat die Dachfront des Hauptgebäudes der Uno-City immer die gleiche Höhe?
	b) Welche Höhe besitzt die Dachfront?
	c) Welche Länge besitzt die Dachfront?
Funktionen	a) <i>Create Contour</i>
	b) <i>Create Contour</i> → <i>Properties</i> → <i>Size and Position</i> → <i>Height</i>
	c) <i>Create Contour</i> → <i>Properties</i> → <i>Length</i> → <i>Length</i>
Ergebnis	a) Ja (siehe Abb. 50)

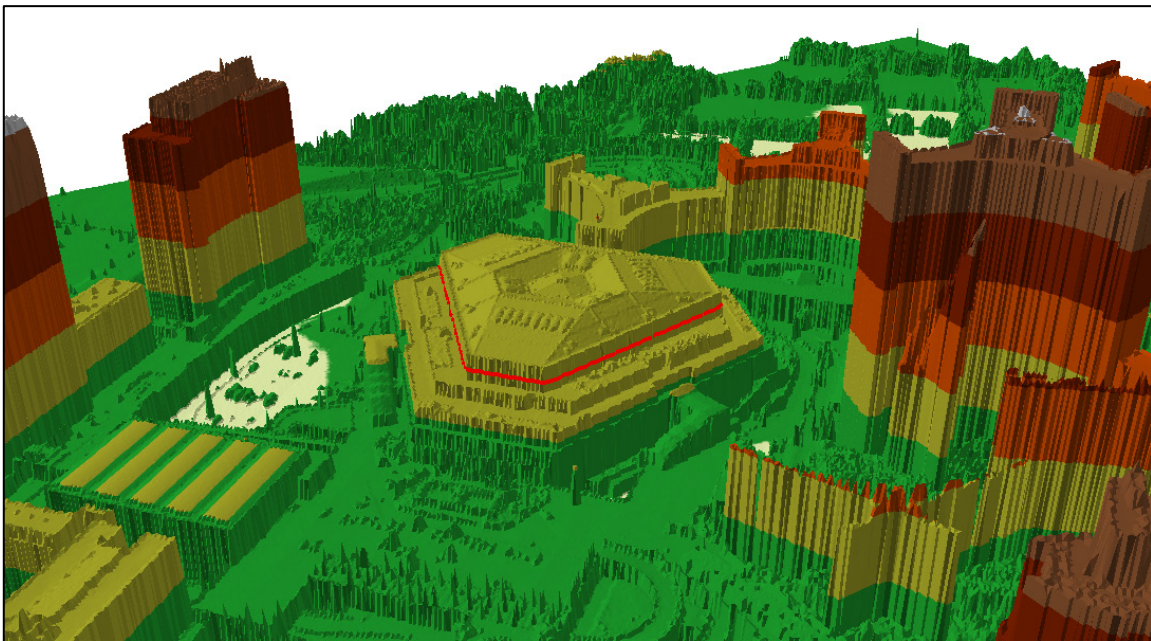


Abb. 50 Darstellung der Konturlinie (eigene Bearbeitung (2013))

Ergebnis	b) & c) Die Dachfront besitzt eine Höhe von rund 107 Meter bei einer Länge von rund 352 Meter (siehe Abb. 51)
-----------------	---

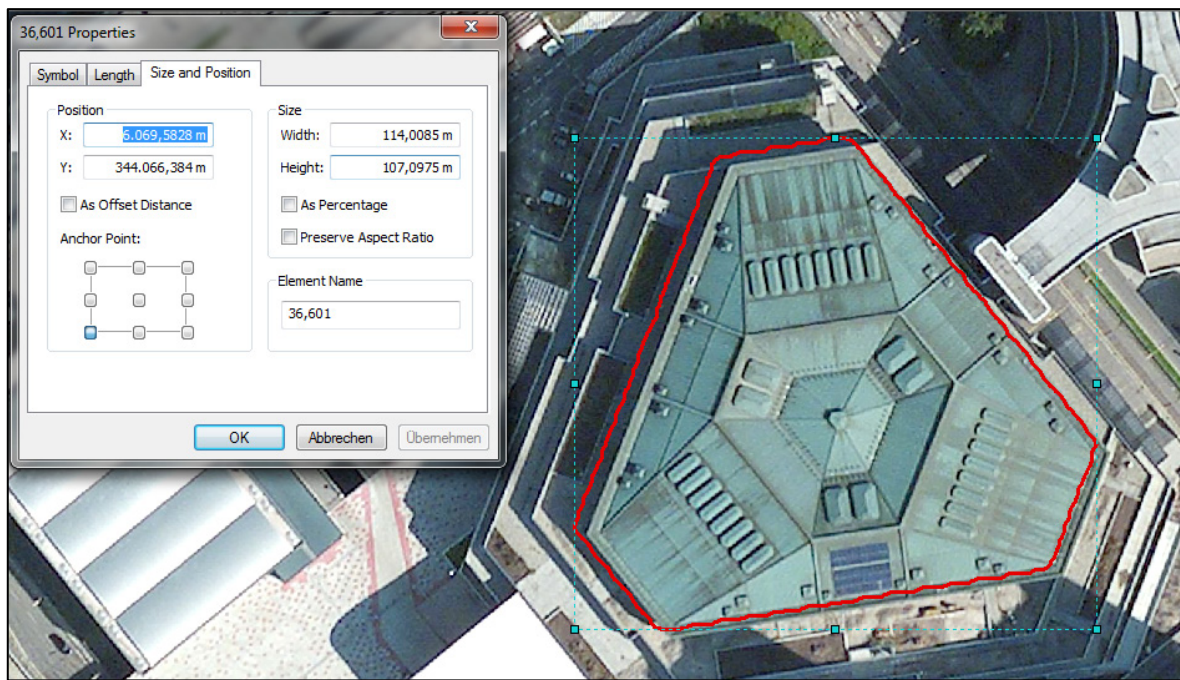


Abb. 51 Berechnete Konturlinie der Dachfront des Hauptgebäudes der UNO-City (eigene Bearbeitung (2013))

6.2.2. Interpolierte Linien & Profile / Interpolate Line & Graph

Profile (Geländeschnitte) stellen in vielen Anwendungsbereichen eine zusätzliche Informationsquelle dar. Die Vorteile dieser Art der Darstellung liegen in der Möglichkeit Höhendifferenzen schnell zu erfassen und Informationen über die Beschaffenheit des Untergrundes darstellen zu können. Ein Nachteil dieser Form der Darstellung liegt darin, dass sich die ganze Abbildung nur auf eine einzige Schnittlinie durch das Gelände bezieht und somit keinerlei flächenhafte Übersicht bietet. Besonders in der Geologie finden Profile eine praktische Anwendung, wobei es darum geht, den Aufbau des Gesteinsuntergrundes darzustellen (nach REINFRIED & ROTH (1995), S. 21). Durch die Möglichkeit der Darstellung der Veränderung der Höhe einer Oberfläche entlang einer Linie, können außerdem sehr leicht Hindernisse entlang des Pfades erkannt werden und als zusätzliches Kriterium für Entscheidungsfindungen eingesetzt werden.

Das Profildialogwerkzeug des 3D Analyst kann verwendet werden um eine solche graphische Darstellung von einem oder mehreren Profilen abzuleiten. Zur Generierung der Profile können alle Arten von 3D Linien Features herangezogen werden:

- Digitalisieren einer 3D Linie aus einer Oberfläche mit dem interaktiven Werkzeug **Linie interpolieren**
- 3D Linien Features aus einer **Line Feature Class**
- Ergebnisse von Sichtbarkeitsanalysen für Sichtlinien mit dem interaktiven Werkzeug **Sichtlinie**

- Ergebnisse von Oberflächenanalysen für steilste Verbindungen mit dem interaktiven Werkzeug **Steilste Verbindung**
- Digitalisieren einer 3D Linie über einem **Multipoint** oder einer **Point Feature Class**

Anwendungsbeispiel „Interpolierte Linien und Profile“

Frage-stellungen	a) Gibt es entlang einer interpolierten 3D Linie Baum-freie Abschnitte (Baum-frei: DSM und DTM müssen ident sein)?
	b) Welchen Wert hat die Maximalhöhe des Waldes entlang der Profillinie?
Funktionen	a) 1. Interpolate Line 2. Profile Graph (für DSM und DTM) 3.1. Export Profile Graph to Excel 3.2. Profile Graph → Advanced Properties
	b) 1.1. Profile Graph → Add New Funktion → Function Type: High 1.2. Bildung der Differenz in Excel und Ausgabe
Ergebnisse	a) Ja. Entlang der ersten 65 Meter und entlang der letzten 13 Meter (siehe Abb. 52).
	b) Die maximale Höhe des Waldes beträgt 26,8 Meter (siehe Abb. 52).

Das **Profile Graph** Werkzeug der Toolbar bietet umfangreiche Möglichkeiten und Optionen um den Graph sinnvoll aufzubereiten und zu editieren. Es lassen sich alle Elemente bearbeiten wie beispielsweise die Achsen, der Titel oder die Legende. Zudem gibt es bereits vorgefertigte Themen, in unterschiedlichen Farbkombinationen. Ein Nachteil liegt jedoch im teilweise schwierig zu überblickenden und nicht intuitiv gestalteten Menü des Graphen. Die Daten können in unterschiedlichen Bild- und Tabellenformaten exportiert werden und somit auch als Excel Datei zur Verfügung gestellt werden. Dies ist sehr sinnvoll, da somit hochwertigere grafische Outputs erzeugt werden können (siehe Abb. 52). Eine weitere Funktion des Profile Graph, der es ermöglicht die dargestellten Daten hochwertig in eine Homepage zu integrieren, ist die Funktion „Checkbox“ im Legendenmenü. Damit können Anwender über einfaches Klicken Datenreihen ein- und ausblenden (siehe Abb. 53).

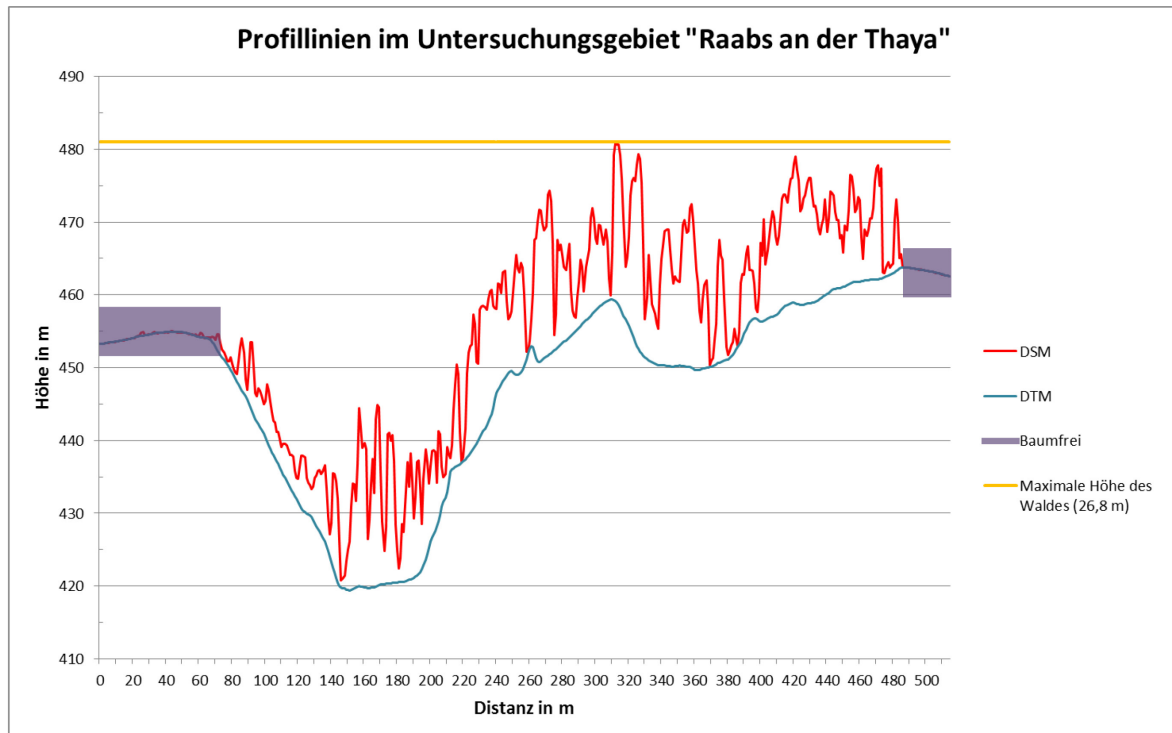


Abb. 52 Profillinien im UG Raabs an der Thaya – Excel-Export der Daten (eigene Bearbeitung (2013))

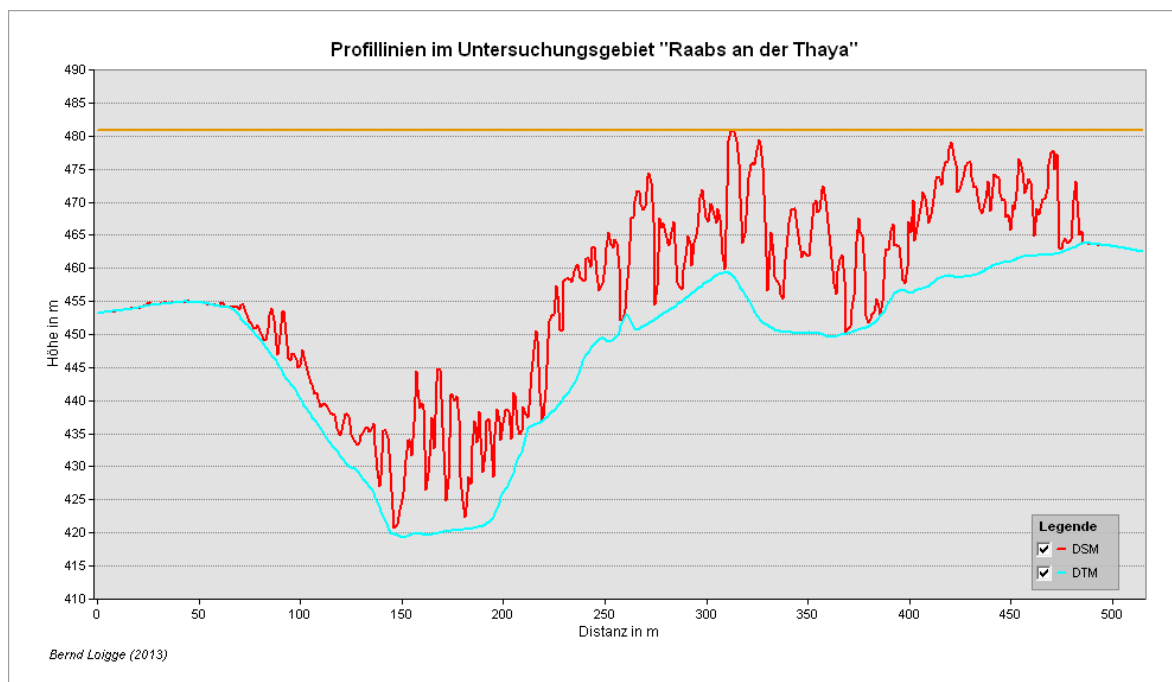


Abb. 53 Profillinien im UG Raabs an der Thaya – Editiert mit dem interaktiven Tool „Profile Graph“ der 3D Analyst Toolbar (eigene Bearbeitung (2013))

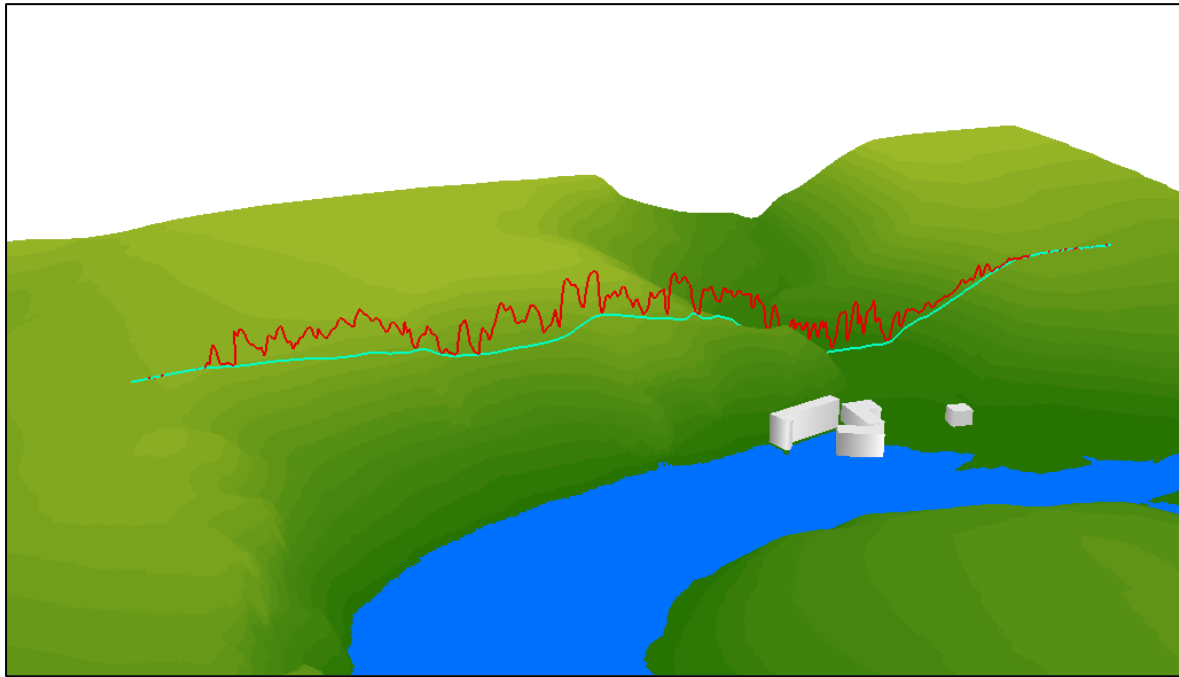


Abb. 54 Darstellung der Profillinien (eigene Bearbeitung (2013))

6.2.3. Sichtlinie erstellen / Create Line of Sight

Unter einer Sichtlinie wird eine Linie zwischen zwei Punkten auf einer Oberfläche verstanden, welche eine Aussage darüber gibt, an welchen Stellen entlang der Linie die Sicht eingeschränkt bzw. nicht eingeschränkt ist. Durch farbliche Unterschiede können sichtbare und unsichtbare Bereiche kenntlich gemacht werden. Wenn das Terrain den anvisierten Zielpunkt verdeckt, können die Hindernisse ausgemacht werden (blaue Punktssignatur). Ist der Zielpunkt einsehbar wird dieser grün, ist er nicht einsehbar rot dargestellt. Zusätzlich können durch die Angabe der Höhe des Beobachters (Observers) bzw. des Zielpunktes weitere Modifikationen, welche eine genauere Analyse ermöglichen, eingestellt werden. In diesem Unterkapitel wird nur auf das Werkzeug **Line of Sight** der Toolbar eingegangen. Mehr Informationen zu Sichtbarkeitsanalysen sind im Kapitel 6.4.1. erklärt.

Anwendungsbeispiel „Sichtlinie erstellen“

Frage-stellungen	a) Ist das Dach des Hauptgebäudes der Uno-City vom gewählten Standpunkt aus, bei einer Körpergröße von 2 Meter, einsehbar?
	b) Ab welcher Distanz gibt es ein Hindernis in welcher Höhe?
	c) Ab welcher Höhe des Betrachters wäre das Dach der Uno-City einsehbar?
Funktionen	a) Create Line of Sight
	b) Profile Graph → Identify (M Value)
	c) Vergleich der unterschiedlichen Profile Graphen

Ergebnisse	a) Bei einer Körpergröße von 2 Meter wäre das Dach nicht einsehbar.
	b) Es bestehen Hindernisse für das Nichteinsehen des Daches in 74 Meter Distanz und einer Höhe von rund 26 Meter (siehe Abb. 55).

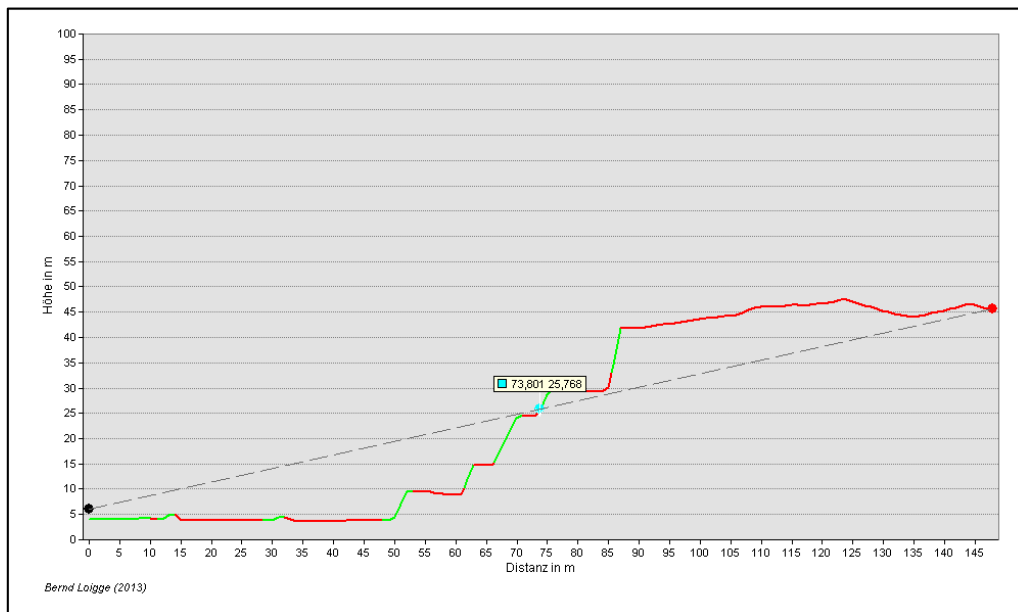


Abb. 55 Line of Sight Graph - Observerhöhe von 2 Meter (eigene Bearbeitung (2013))

Ergebnisse	c) In einer Höhe von 100 Meter wäre das Dach 100% einsehbar (siehe Abb. 56 & Abb. 57).
-------------------	--

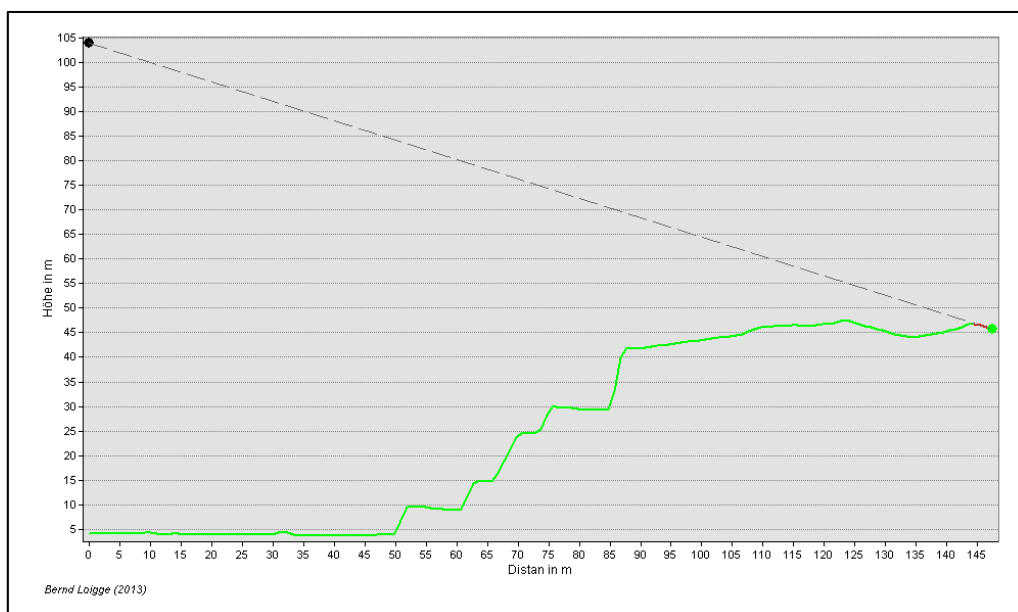


Abb. 56 Line of Sight Graph - Observerhöhe von 100 Meter (eigene Bearbeitung (2013))

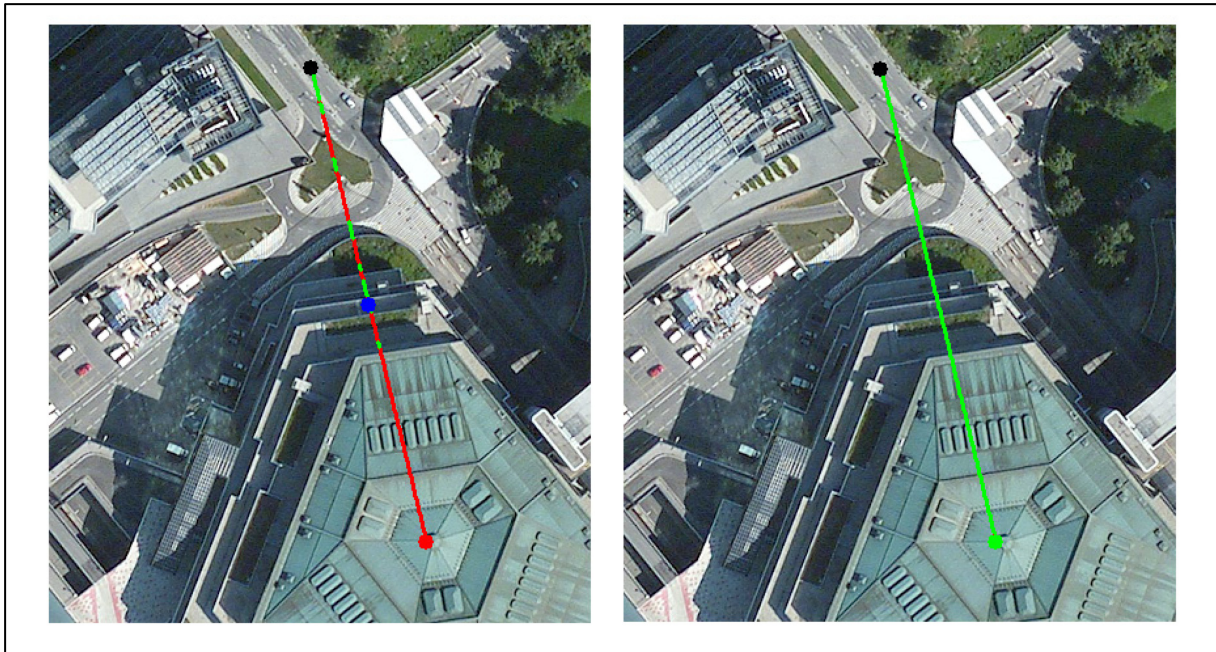


Abb. 57 Line of Sights (Observerhöhe: links 2 Meter, rechts 100 Meter; roter Bereich: nicht einsehbar – grüner Bereich: einsehbar) (eigene Bearbeitung (2013))

6.2.4. Steilste Verbindung erstellen / Create Steepest Path

Diese Funktion eignet sich hervorragend zum Auffinden von etwaigen Unregelmäßigkeiten innerhalb eines Geländemodells oder zum Detektieren von Gerinnen. Das Werkzeug berechnet jenen Weg, den ein kugelförmiges Objekt innerhalb eines Geländemodells entlang rollen würde, bis dieses eine Mulde erreicht. Das Ergebnis der Berechnungen ist eine dreidimensionale Linie welche diesen Weg beschreibt (nach Esri (2013f)).

Anwendungsbeispiel „Steepest Path“

Frage-stellungen	a) Lässt sich in einem ausgewiesenen Bereich des UG Raabs an der Thaya ein Gerinne detektieren?
	b) Welche Länge hätte das Gerinne und welche Höhendifferenz ergibt sich?
Funktionen	a) Create Steepest Path
	b) Profile Graph
Ergebnisse	a) Ja. Im ausgewiesenen Bereich befindet sich ein Gerinne (siehe Abb. 58).

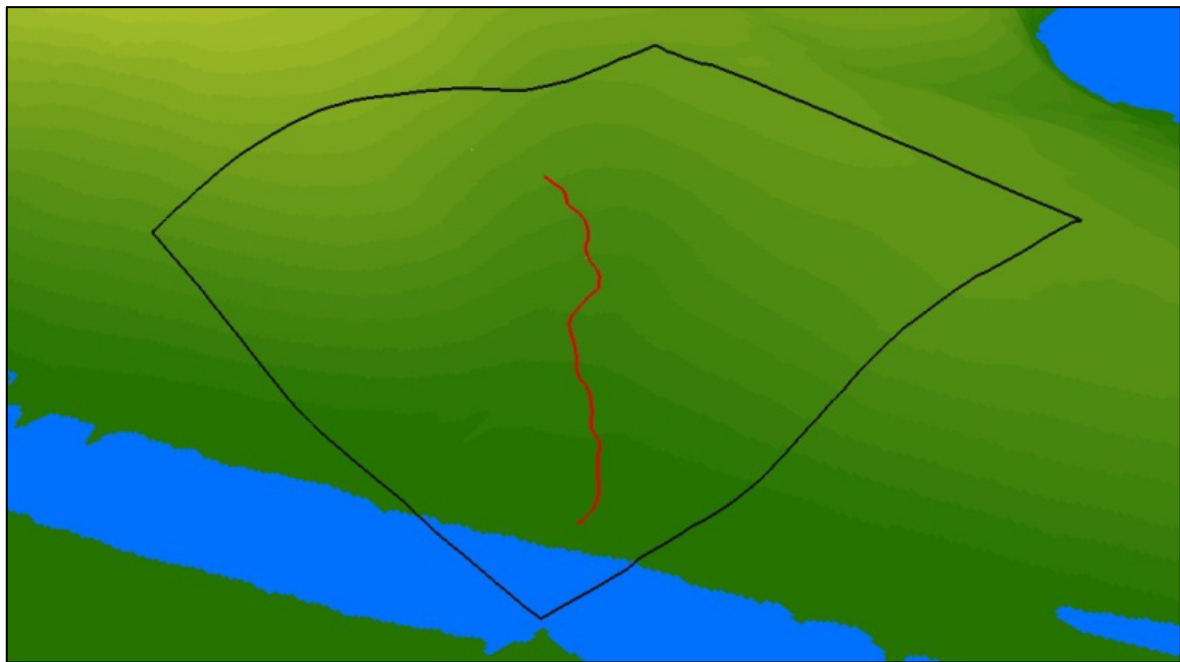


Abb. 58 Steepest Path im ausgewiesenen Bereich (eigene Bearbeitung (2013))

Ergebnisse	b) Das Gerinne hat eine Länge von rund 153 Meter bei einer Höhendifferenz von 24 Meter (siehe Abb. 59).
-------------------	---

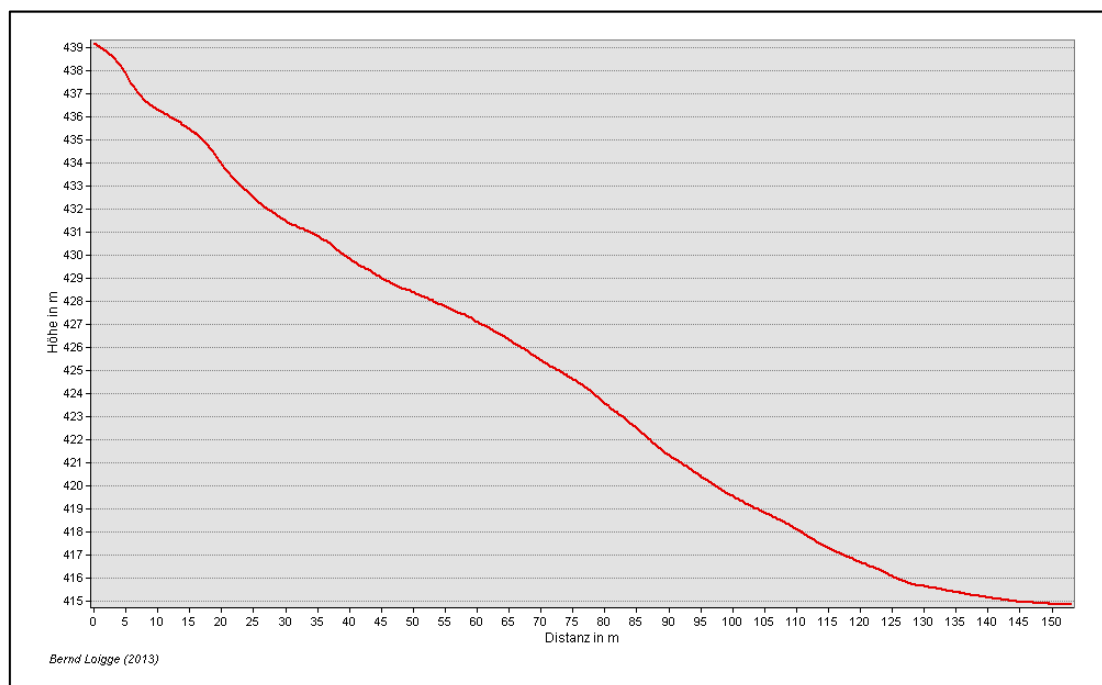


Abb. 59 Steepest Path Graph im ausgewiesenen Bereich (eigene Bearbeitung (2013))

6.3. Beurteilung der Funktionen der 3D Analyst Toolbar

Die Funktionen der Toolbar des 3D Analyst bieten dem Anwender eine schnelle Möglichkeit einen Datensatz, welcher dreidimensionale Informationen enthält, zu untersuchen und auf mögliche Ungenauigkeiten zu überprüfen. Neben den komplexeren Untersuchungsmöglichkeiten der 3D Analysis Toolbox bieten diese Tools somit eine rasche Möglichkeit um Muster in 3D Oberflächen zu erkennen und zu bewerten.

Mit Hilfe der Funktion **Create Contour** können Konturlinien die durch einen Punkt verlaufen erstellt werden. Diese Funktion eignet sich beispielsweise sehr gut um herauszufinden, ob ein bestimmtes Objekt entlang einer Kante dieselbe Höhe aufweist. Auch kann diese Funktion in ArcScene ausgeführt werden bzw. von ArcMap dorthin kopiert werden. Für die Analyse eines Teilausschnittes der Oberfläche wäre unter Umständen ein aufziehbares Werkzeug vorstellbar, welches für einen bestimmten Bereich gleich mehrere Konturlinien, in einem vorher definierten Intervall generieren würde.

Mit Hilfe der Funktion **Create Line of Sight** werden Linien erzeugt, welche es dem Nutzer möglich machen herauszufinden, ob ein anvisiertes Ziel von einem ausgewählten Standpunkt aus sichtbar ist oder nicht. Diese Funktion kann ausschließlich in ArcMap ausgeführt werden, jedoch ist ein Kopieren als Grafik in ArcScene möglich. Leider kann man nach dem Kopieren der Line of Sight diese in ArcScene weder weiter editieren, um beispielsweise die Farbe oder Dicke der Linie zu ändern, noch kann diese gelöscht werden, was dazu führen kann, dass ein bestehendes ArcScene Dokument neu aufgebaut werden muss. Ein großer Vorteil der Funktion ist die Einstellungsmöglichkeit des Observer Offsets bzw. des Target Offsets was vergleichende Analysen ermöglicht.

Mit Hilfe der Funktionen **Interpolate Line, Point, Polygon** und der Funktion **Profile Graph** lassen sich in kurzer Zeit Linien, Punkte und Polygone erzeugen, welche aufgrund einer ausgewählten 3D Oberfläche dreidimensionale Werte erhalten. Mit Hilfe der Graphen-Funktion lassen sich dann aus diesen Informationen über Änderungen der Höhe einer Oberfläche oder Informationen über etwaige Hindernisse eines Pfades bewerten oder einschätzen. Auch können die erzeugten Linien der anderen 3D Analyst Toolbar Funktionen als Graph dargestellt werden. Das Menü des Graphen bietet umfangreiche Editier- und Exportfunktionen an. Leider ist dieses meiner Meinung nach zum Teil nicht intuitiv aufgebaut und man braucht sehr lange um die einzelnen Einstellungsmöglichkeiten zu überblicken. Daher liegt es nahe die erzeugten Linien als Excel Datei zu exportieren und die Grafik dort zu erstellen.

6.4. Die 3D Analyst Toolbox

In diesem Kapitel werden nun ausgewählte Funktionen der 3D Analyst Toolbox erklärt. Für ein besseres Verständnis werden diese anhand von praktischen Beispielen vorgeführt. Wie auch in Kapitel 6.2. werden verschiedene Forschungsfragen definiert, welche dann mit Hilfe der Funktionen gelöst werden. Da es einige Erweiterungen im Bereich von Sichtbarkeits- & Sichtfeldanalysen gegeben hat, wird zunächst ein theoretischer Überblick über die Funktionalitäten dieser Analysen gegeben. Am Ende werden die Ergebnisse präsentiert und es wird eine subjektive Bewertung über die Möglichkeiten und Limitierungen der Tools angeführt.

6.4.1. Sichtbarkeits- & Sichtfeldanalysen / Visibility

Für unterschiedlichsten Wissenschaften und Anwendungsgebieten sind Sichtbarkeits- und Sichtfeldanalyse heute als Standard zu sehen bzw. werden immer öfter durchgeführt. GRAF (2006) führt in diesem Zusammenhang an, dass oftmals abgeklärt wird, inwieweit sich bestimmte Bauvorhaben und angedachte Veränderungen in das Landschaftsbild bzw. in vorhandene Infrastrukturen einfügen und ob es dadurch zu störenden Veränderungen kommt. Besonders durch das Aufkommen von erneuerbaren Energieformen und deren technische Umsetzungen wie beispielsweise Windräder oder Biogasanlagen gewinnen Sichtbarkeitsanalysen immer mehr an Bedeutung. Auch spielen diese Analysen im Bereich der Immobilienwirtschaft eine immer größere Rolle, da durch neue Bauprojekte und die damit verbundenen Beeinträchtigungen, angrenzenden Immobilien in ihrem Wert gemindert werden können.

Weitere Arbeitsfelder in denen Algorithmen von Sichtbarkeits- bzw. Sichtfeldanalyse zur Anwendung kommen (aus GRAF (2006), S.2):

- Funknetzplanung
- Schallausbreitungen
- Überflutungs- Feuerausbreitungssimulationen

Unter Sichtfeldanalysen (Viewsheds) versteht man somit allgemein im Geoinformationsbereich, Analysen, welche Auskunft darüber geben, welche Stellen innerhalb eines Geländes von einem vorher definierten Punkt aus sichtbar sind. Sichtbarkeitsanalysen basieren hingegen auf der Frage „Kann ich das Ziel von meinem Standpunkt sehen?“. Prinzipiell liefern beide Analysen zwei Ergebnisse: Regionen, welche eingesehen, also sichtbar sind oder Regionen die nicht sichtbar sind (nach MALOY & DEAN (2001), S.1293). Ein Standort gilt von einem anderen Standort dann als einsehbar, wenn eine gerade Linie zwischen den Standorten gelegt werden kann und diese dabei auf keine Hindernisse trifft. So ist die Fläche hinter dem Haus in Abb. 60 von der Spitze des Hochhauses (Observer Point) nicht einsehbar - der Hügel jedoch schon.

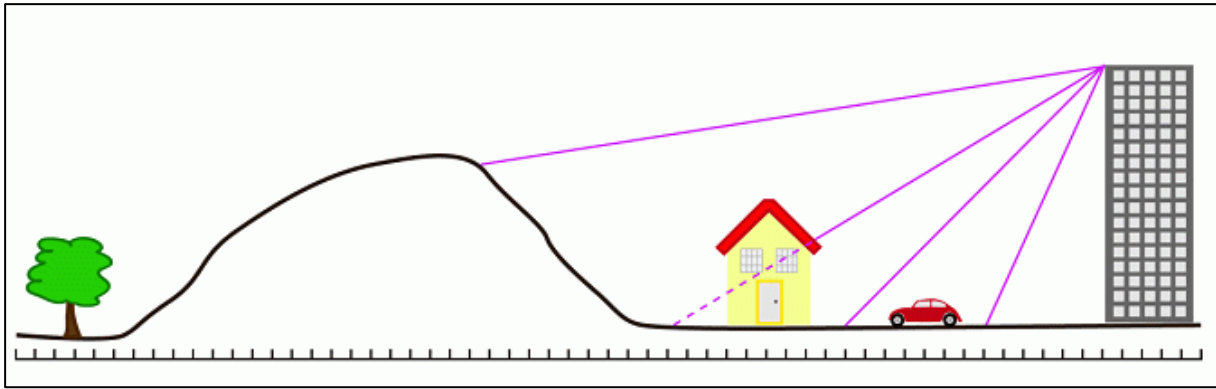


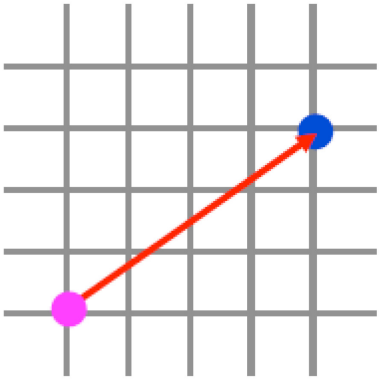
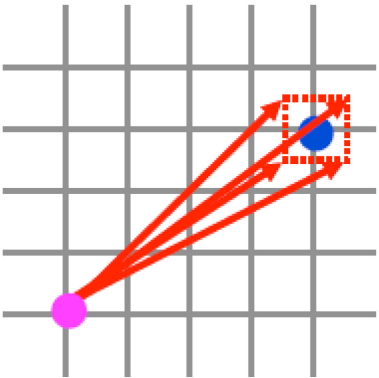
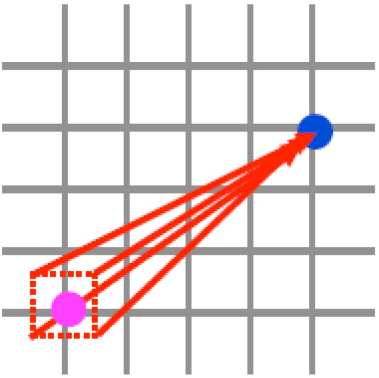
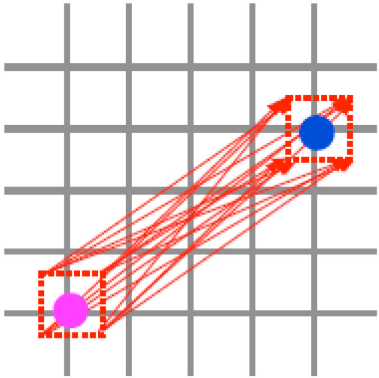
Abb. 60 Sichtbare und nicht sichtbare Bereich von der Spitze eines Hochhauses (aus MAGISTRAT DER STADT WIEN (2013))

Als Inputparameter müssen zumindest ein Digitales Geländemodell bzw. Digitales Gebäudemodell und ein dreidimensionaler Punkt bzw. eine Linie gegeben sein, von welchem/r aus das Gebiet eingesehen wird. Der, dem Verfahren zugrunde liegende Algorithmus berechnet dann, ob ein Gebiet sichtbar oder nicht sichtbar ist. Von dem gesetzten Oberserverpoint wird zu jedem Punkt (sowohl für TINs als auch für Raster möglich) eine Linie (LOS - Line of Sight) berechnet. Ist der Höhenwert der Pixel, welche sich entlang dieser Linie befinden höher als die Höhenwerte der Linie selbst, so ist der angepeilte Punkt (das Pixel) nicht sichtbar und umgekehrt (nach FISCHER (1996)).

Obwohl der Basisalgorithmus sehr einfach formuliert ist, gibt es verschiedene Arten, wie dieser implementiert werden kann (aus WEIBEL (2012)). Einflussfaktoren bei der Berechnung bilden dabei folgende drei Fragen (DSM hier: Raster – ähnliches Vorgehen auch bei TIN) (nach FISCHER (1996)):

1. Welche Auswirkung hat die Wahl der Form (Pixel oder Punkt) des Observerpoints bzw. des beobachteten Punktes (siehe Tab. 37)?
 - Es können bis zu 16 LOS über die Sichtbarkeit entscheiden
 - Bei mehr als einer LOS stellt sich die Frage was als Kriterium für die Sichtbarkeit angenommen wird (Wahrscheinlichkeit, Bestimmte Anzahl von LOS)
2. Wie werden die Höhen entlang der LOS berechnet (siehe Tab. 38)?
 - Drei Optionen der Höhenberechnung möglich
 - Rote Linie in Grafik gibt unterschiedliche Variation der Höhe entlang der LOS an
3. Wie wird bestimmt, ob sich ein Punkt oberhalb oder unterhalb eines getesteten Punktes befindet (siehe Abb. 61)?
 - Je nach Berechnung bzw. Betrachtung des zugrunde liegenden Geländemodells kann dies Auswirkung auf die Sichtbarkeit haben
 - Folgende Bedingungen müssen allenfalls erfüllt sein, dass der Punkt E den Punkt C nicht verdeckt: $AD > AE$; $DF > EF$; $\angle ACB < \angle AEF$; $\angle BAC > \angle FAE$; $AC/BC > AE/FE$

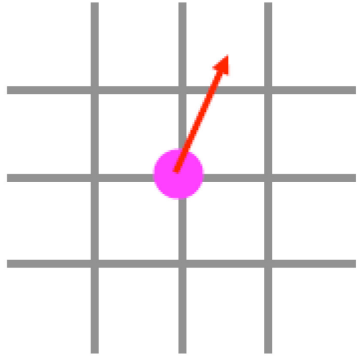
Tab. 37 Auswirkungen der Form des Observerpoints bzw. des untersuchten Punktes auf die Anzahl der LOS (aus WEIBEL (2012))

1. Punkt zu Punkt • 1 LOS 	2. Punkt zu Zelle • 4 LOS 
3. Zelle zu Punkt • 4 LOS 	4. Zelle zu Zelle • 16 LOS 

Tab. 38 Unterschiedliche Berechnungsmöglichkeiten der Höhe entlang der LOS (aus WEIBEL (2012))

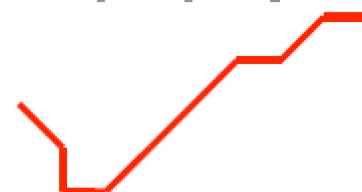
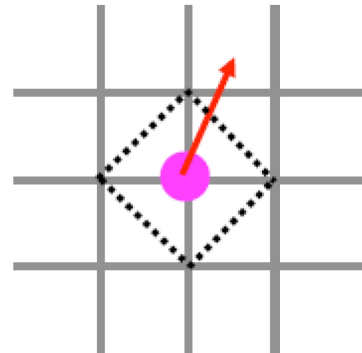
1. Schnittpunkt der LOS mit Rasterkante

- Lineare Interpolation der Höhe am Schnittpunkt der LOS aus den beiden Nachbarpixel



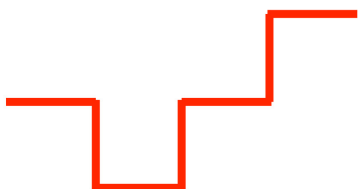
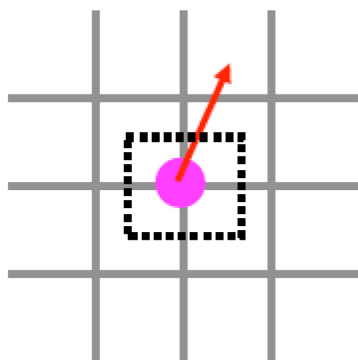
2. Triangulation der Maschen des Rasters

- Verdichtung der Maschen
- Testen der LOS bei jedem Schneiden des Rasters



3. Betrachtung der Zellen als Prisma

- Folglich abrupte Höhenänderungen an den Kanten



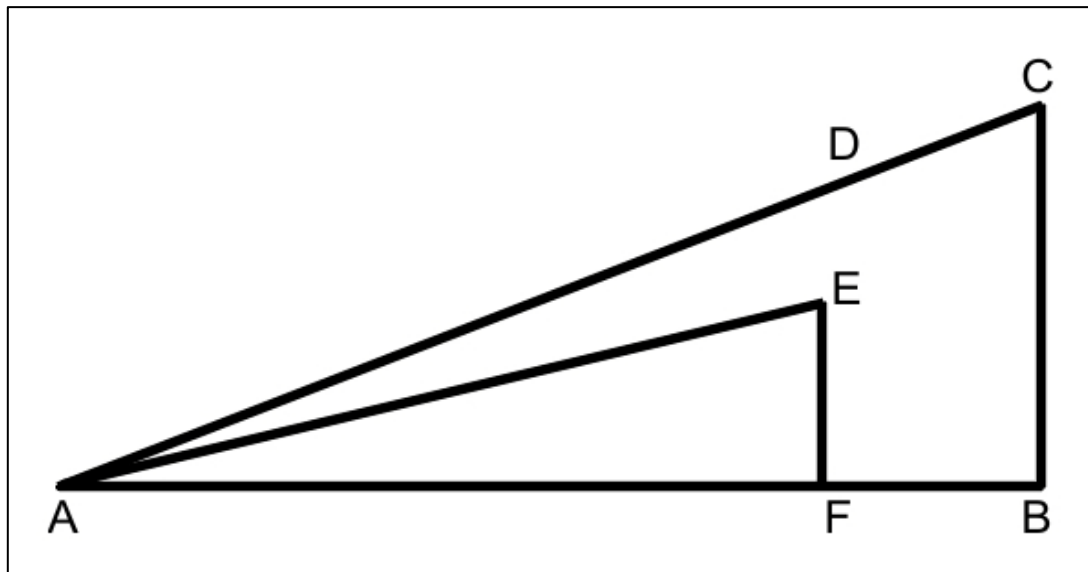


Abb. 61 Bestimmung der relativen Position eines Punktes (aus WEIBEL (2012) & eigene Bearbeitung (2013))

GRAF (2006) unterteilt Sichtbarkeits- / Sichtfeldanalysen in zwei Kategorien – konservativ und approximierte Analysen. Er schreibt, dass Algorithmen zur Sichtbarkeitsbestimmung und Darstellung von Geländemodellen je nach Anwendung verschiedene Anforderungen erfüllen müssen.

„Besonders die Geschwindigkeit der Berechnung, stellt dabei ein schlagendes Kriterium dar. Bei Echtzeitdarstellungen eines Geländes zum Beispiel ist die Geschwindigkeit meist das wichtigste Kriterium bei der Wahl der Algorithmen. Die Detailgenauigkeit ist dabei oft unwesentlicher, weil bestimmte Details vom Betrachter entweder nicht wahrgenommen werden können oder leichte Abweichungen von der Realität keine Auswirkungen auf die Anwendung haben.“ (aus GRAF (2006), S.7)

Nach GRAF (2006) können zwei Verfahren angewandt werden (siehe Tab. 39).

Tab. 39 Unterschiede zwischen konservativen und approximierten Verfahren bei der Berechnung der Sichtbarkeit (aus GRAF (2006), S. 7)

konservativ	• Alle Geländepunkte werden bei der Berechnung miteinbezogen • Für alle Punkte bzw. davon abgeleiteten Vektoren und Flächen wird die Sichtbarkeit berechnet • Ergebnis ist ein detailliertes Abbild der Wirklichkeit • Hoher Berechnungsaufwand → jede Fläche wird einzeln betrachtet und mit jeder anderen Fläche des Modells verrechnet
approximiert	• Hauptargument für dieses Verfahren → Effizienz • Näherungsverfahren um die Sichtbarkeit schnell zu bestimmen • Typen von Näherungsverfahren: ○ Berechnung mit einer geringeren Auflösung des Geländes (Nachteil: größere Abweichung von der Realität) ○ Nur Teilausschnitte – Geländesegmente – werden verarbeitet

Da oftmals nicht der gesamte Datensatz Ziel der Sichtbarkeitsanalyse ist, gibt es unterschiedliche Möglichkeit der Reduktion der Datenmenge, welche auch kombiniert angewendet werden (aus GRAF (2006), S.8):

- „Einmalige Reduktion der ursprünglichen Geländedaten (verbesserte Rasterung des Modells)
- Reduktion der Geländedaten aufgrund der Eingangsparameter – z.B.: Blickrichtung – Sichtkegel (siehe Abb. 62)

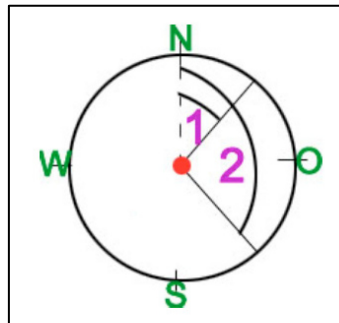


Abb. 62 Beispiel für einen Sichtkegel - Sichtkegel 1 zwischen 0° und 45°, Sichtkegel 2 zwischen 45° und 135° (aus RIEDL, RIEDL, GATTRINGER (2010))

- Reduktion der Daten über eine grobe Sichtbarkeitsbestimmung in einer geringeren Auflösung
- Laufende Reduktion der Daten während der Berechnung (optimierte Ausscheidungsverfahren, Markierung der Daten zur Verhinderung von Doppelbestimmungen)“

GRAF (2006) führt unterschiedliche Algorithmen an, welche zur Berechnung der Sichtbarkeit und zur Voranalyse herangezogen werden können um die eigentliche Berechnung zu optimieren. In Tab. 40 sind diese beschrieben.

Tab. 40 Unterschiedliche Algorithmen zur Berechnung der Sichtbarkeit (aus GRAF (2006), S.9 ff.)

Z-Buffer Algorithmus	• Einfacher, bildpräziser Algorithmus • Arbeitet nur mit gerasterten Daten • Output (Zielgrafik) enthält neben den Farbwerten einen zusätzlichen Z-Wert → Z-Buffer (Bildtiefe des Pixels) • Über die Bildtiefe wird die Sichtbarkeit berechnet • Einfaches, schnelles, approximiertes Verfahren
Raytracing Verfahren	• LOS definiert die Sehrichtung • Richtung der Geraden ist durch das zu prüfende Pixel gegeben • Einfache Geometrie bestimmt etwaige Schnittpunkt • Sichtbar ist jener Schnittpunkt der dem Observerpoint am nächsten ist
Hidden-Line Algorithmus	• Nicht Pixel sondern ganze Objekte (Polygone in 2D und 3D) als Observer

	• Vorteil: deutlich höhere Genauigkeiten → da Originaldaten und keine interpolierten Raster als Grundlage • Nachteil: hoher Rechenaufwand aufgrund von Tiefensortierung (Distanzen der Objekte zum Observer müssen festgelegt werden=
Visibility Culling	• Vor eigentlicher Sichtbarkeitsanalyse → softwareseitiges Aussortieren von ohnehin überhaupt nicht sichtbaren Regionen und Objekten → Sichtbare Bereiche = PVR (potentially visibly regions) • Schrittweise Eliminierung der nicht sichtbaren Bereiche: ○ Detail Culling – Entfernung von Objekten deren projizierte Flächen zu klein sind ○ Frustum Culling – Entfernung von Objekten außerhalb des Sichtkegels ○ Occlusion Culling – Entfernung durch andere Objekte oder Geländeformen verdeckter Objekte ○ LOD Filterung: Entfernung unnötiger Details ○ Backface Culling – Entfernung der Rückseite von Polygone ○ Clipping – Begrenzung der Objekte an den Bild- und Objektgrenzen und Objeküberlappungen • Visibility Culling nur sinnvoll wenn korrekt, effizient und es eine Zeitersparnis bringt
Distance Culling	• Distanz des Observers zum Gelände ausschlaggebend • Ist ein Objekt / Pixel kleiner als eine definierte Größe wird es nicht mehr miteinbezogen • Parameter für Sicht vorhanden (Faktoren für Dunst, Nebel, Gegenlicht etc.) • Höhe des Betrachters wird miteinbezogen • Schnelles und einfaches Verfahren • Für viele Fragestellungen zu wenig effizient
Frustum Culling	• Sehr aufwendiges Verfahren • Gedachter Pyramidenstumpf (engl. Frustum) als Betrachtungsobjekt (siehe Abb. 63) • Zentralperspektivische Projektion • Ermittlung ob Objekte / Pixel innerhalb oder außerhalb des Pyramidenstumpfes liegen → ausschlaggebend ob sichtbar oder nicht • Aufwendig, da alle Objektbestandteile bzw. Polygone detailliert betrachtet werden müssen
Backface Culling	• Ermittlung der Sichtbarkeit aufgrund der Lage der Polygonebene • Berechnung der Neigung als Indikator für Sichtbarkeit

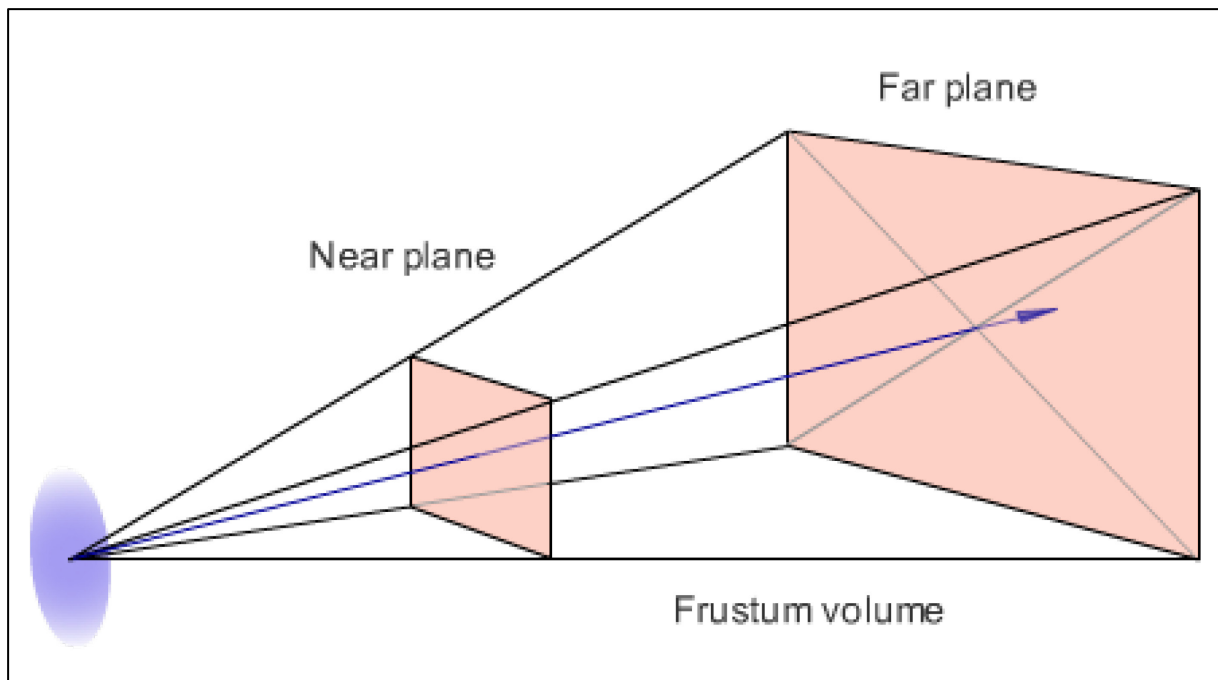


Abb. 63 Schematische Darstellung eines Frustum beim Frustum Culling (aus Noss (2012))

Diese Algorithmen können einzelnen und kombiniert angewendet werden, wobei zunächst sichergestellt werden sollte, ob durch die gewählten „Optimierungen“ überhaupt eine Reduktion des gesamten Aufwandes passiert (im Sinne einer Kosten-Nutzen Rechnung).

Eine weitere Form von Sichtbarkeitsanalysen stellt die Generierung einer Skyline dar. Dabei werden dreidimensionale Polyline erstellt, welche den Himmel von der Oberfläche und/oder von einem Objekt, welches den Himmel „berührt“, aus der Perspektive der Beobachterposition teilt (aus ESRI (2013h)).

Die 3D Analyst Toolbox bietet sowohl Möglichkeiten eine Sichtfeldanalyse (Viewshed) als auch eine Sichtbarkeitsanalyse (Line of Sight) durchzuführen. Außerdem können mit den Funktionen Skyline, Skyline-Barrier und Skyline-Graph Analysen den Horizont betreffend durchgeführt werden. Eine zusätzliche Erweiterung stellt die Funktion Sun Shadow Volume dar, welche Schatten modelliert, die bei Sonnenlicht an einem gegebenen Datum und zu einer gegebenen Uhrzeit von einem Objekt geworfen werden. Die folgenden Anwendungsbeispiele sollen die Funktionsweise der Sichtbarkeitsanalysefunktionen.

Tab. 41 Sichtbarkeitsanalysefunktionen des 3D Analyst (aus ESRI (2013e))

Funktion	Erläuterung
Construct Sight Lines / Sichtlinie konstruieren	Dient zum Erstellen von Linien-Features, die Sichtlinien von einem oder mehreren Beobachterpunkten auf Features in einer Ziel-Feature-Class darstellen
Line Of Sight / Sichtlinie	Bestimmt die Sichtbarkeit von Sichtlinien über einer von einem Multipatch, Raster, TIN, Terrain- oder LAS-Dataset definierten Oberfläche
Observer Points / Beobachtungspunkte	Hiermit werden die Beobachterpunkte bestimmt, die von jeder Position auf der Raster-Oberfläche sichtbar sind
Skyline / Horizont	Generiert eine Line- oder Multipatch-Feature-Class, die die Ergebnisse aus einer Skylineanalyse enthält
Skyline Barrier / Hindernisse im Horizont	Generiert eine Multipatch-Feature-Class, die eine Skyline-Barriere oder ein Schattenvolumen darstellt
Skyline Graph / Horizont-Diagramm	Berechnet die Sichtbarkeit des Himmels und generiert optional eine Tabelle und ein Polardiagramm
Sun Shadow Volume / Sonnenschattenvolumen	Erstellt eine Feature-Class, die die Schatten modelliert, die bei Sonnenlicht an einem gegebenen Datum und zu einer gegebenen Uhrzeit von den Eingabe-Features geworfen werden
Viewshed / Sichtfeld	Hiermit werden die Positionen auf der Raster-Oberfläche bestimmt, die verschiedene Beobachter-Features sehen können

6.4.2. Anwendungsbeispiele

Anwendungsbeispiel „Sichtbarkeitsanalyse“

Problem-stellung	Eine Überwachungskamera soll einen geplanten Fußweg überwachen. Die dafür verwendete Kamera soll an der Spitze eines Hochhauses montiert werden. Der zu überwachende Fußweg liegt in unmittelbarer Umgebung.	
Frage-stellungen	a) Liegen Objekte im Sichtfeld der Kamera, welche ein Observieren des Fußweges unmöglich machen?	
	b) Wie viel Prozent des Gehweges können überwacht werden?	
Funktionen	a) 1. Erstellen eines Observerpoints	Position der Überwachungskamera
	2. Erstellen eines Targetfeatures	Fußweg
	3. Construct Sight Lines	- Input Observerpoint: Observerpoint - Input Targetfeature: Targetfeature - Sampling Distanz: 1 (Meter) (Distanz zwischen den generierten Sight Lines auf dem Target Feature)

	4. Line of Sight	• Input Surface: DTM • Input Line Feature: Sight Lines • Input Features: Buildings_3D • Output Feature: Sight Lines (differenziert nach sichtbaren und unsichtbaren Linien)
	b) Prozentuelle Berechnung	• Länge Gehweg: 976 Meter • Anzahl Sightline: 977 • Anzahl Sightlines nicht einsehbar: 612 • Anteil der nicht eingesehen werden kann: 37,4 Prozent
Ergebnisse	a) Im zu überwachenden Bereich liegen insgesamt sechs Objekte, welche eine Überwachung des Fußweges nicht möglich machen (siehe Abb. 65).	
	b) Insgesamt können 37,4 Prozent überwacht werden.	

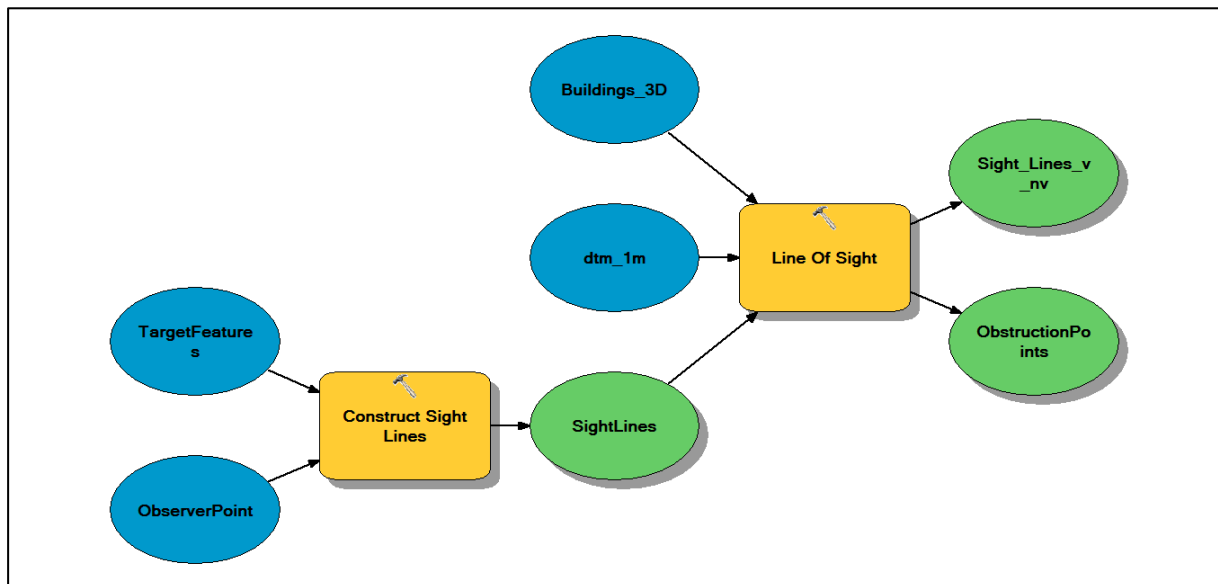


Abb. 64 Berechnung der Sichtbarkeit (eigene Bearbeitung (2013))

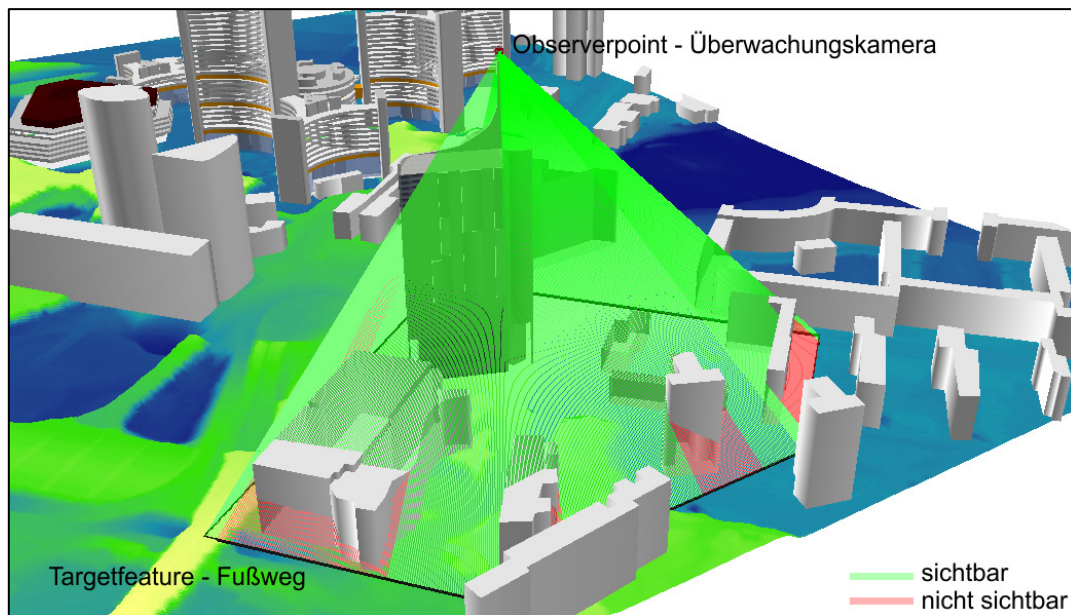


Abb. 65 Sichtbarkeitsanalyse (grüner Bereich: sichtbar – roter Bereich: nicht sichtbar) (eigene Bearbeitung (2013))

Anwendungsbeispiel „Skyline – Flakgeschütz“

Problem-stellung	Ein wichtiger Aspekt bei der Planung von Flugrouten in militärischen Anwendungen besteht in der Risikobewertung, beispielsweise der Analyse von Gefahren durch ein Flakgeschütz. Dies ist ein inhärentes 3D-Problem, da die Reichweite der Waffe auf der direkten 3D-Entfernung zwischen der Bedrohung und der Flugbahn des Luftfahrzeugs basiert (nach ESRI (2013i)).	
Frage-stellungen	a) Liegen Abschnitte der Flugroute innerhalb der Radar-gestützten (500 Meter) bzw. nicht-Radar-gestützten Reichweite des Flakgeschützes (250 Meter)?	
	b) Wie lang sind die unterschiedlichen Gefahrenbereiche?	
	c) Hat das Terrain bzw. etwaige Gebäude in der Nähe des Flakgeschützes eine Auswirkung auf die Gefahrenbereiche?	
	d) Würde eine Änderung der Flugroute, innerhalb des Korridors (87,5 Meter in alle Richtungen), den das Flugzeug als mögliche Variantenroute befliegen kann einen möglichen Schutz vor dem Flakgeschütz bewirken?	
Funktionen	a) 1. Erstellen von Multipatchfeature für die beiden Reichweiten - Layer 3D to Feature Class	• Festlegen der Größe in der Symbology → Advanced → Size • Verbinden der Layer durch Merge
	2. Verschneiden der Flugroute mit den Reichweiten Intersect 3D Line with Multipatch	• Outputpoints geben zusätzlich die konkreten Punkte der Verschneidung an
	3. Symbology anpassen – Unique Values	
	b) Erstellen eines Kreissektorendiagramms	• Value Field → Shape Length

	Create Graph	
	c) 1. Erstellen einer Skyline des Flakgeschützes (etwaige Hindernisse, die eine Einschränkung darstellen, werden berücksichtigt)	• Input Observerpoints: Flakgeschütze • Input Surface: DTM • Input Features: Buildings
	2. Erstellen einer Skyline-Barrier (aus der zuvor generierten Skyline wird ein 3D Körper erstellt)	• Input Feature: Skyline_Flak • Base Elevation: 1000 Meter
	3. Der erstellte 3D Körper muss mit der Funktion Enclose Multipatch , für weitere Analysen, geschlossen werden.	• Grid Size: 1
	4. Verschneiden der alten Restriktion mit der neuen mittels Intersect 3D	• Input Multipatch 1: Reichweiten der Flakgeschütze • Input Multipatch 2: Skyline-Barrier
	d) 1. Erstellen eines Korridors mit der Funktion Buffer (2D) → anschließendes Extrudieren	• Distanz: Linear Unit 87,5 Meter
	2. Verschneiden der alten Restriktion mit der neuen mittels Intersect 3D	• Input Multipatch 1: Ergebnis Multipatch Feature aus c) • Input Multipatch 2: Korridor
	3. Erstellen einer neuen Flugroute durch visuelle Anpassung in jenen Bereich, welcher die geringste Gefahr aufweist	
Ergebnisse	a) Ja die Flugroute führt sowohl durch die Radar-gestützte Reichweite (500 Meter) als auch durch die nicht Radar-gestützte Reichweite (250 Meter) der Flakgeschütze (siehe Abb. 66 & Abb. 67).	

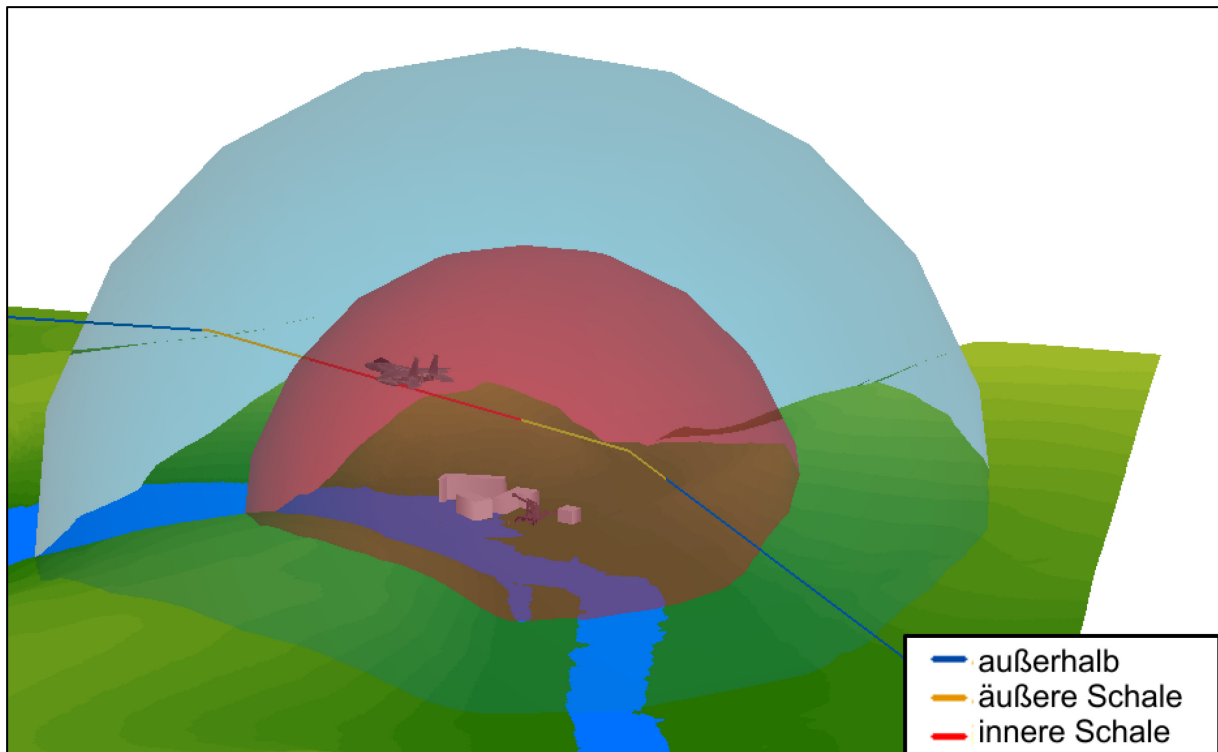


Abb. 66 Unterschiedliche Gefahrenbereiche in den beiden Reichweitenabschnitten der Flakgeschütze (rot: 250 Meter Radius; blau: 500 Meter Radius) (eigene Bearbeitung (2013))

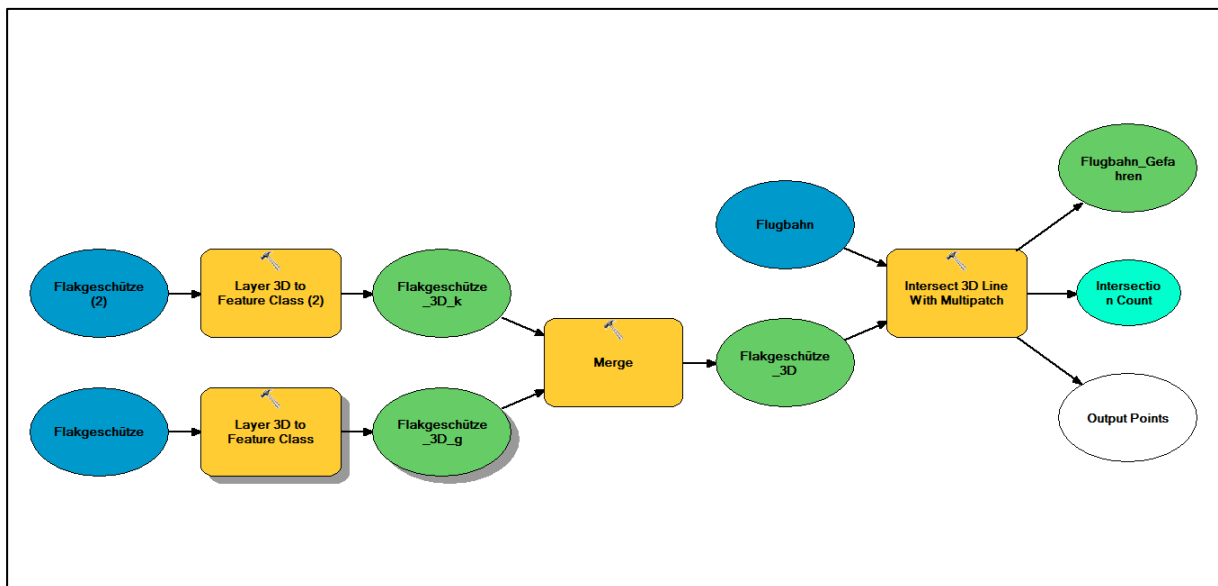


Abb. 67 Berechnung der Reichweiten der Flakgeschütze und der Gefahrenbereiche für das Flugzeug (eigene Bearbeitung (2013))

Ergebnisse	b) Der rote Gefahrenbereich (höchste Gefahr) beträgt rund 190 Meter; der gelbe Gefahrenbereich (hohe Gefahr) beträgt rund 243 Meter; der blaue Gefahrenbereich (niedrige Gefahr) beträgt 880 Meter (siehe Abb. 68 (erstes Diagramm) & Abb. 67). (Anmerkung: Die Flugroute befindet sich zu 100% über dem UG Raabs an der Thaya)
-------------------	---

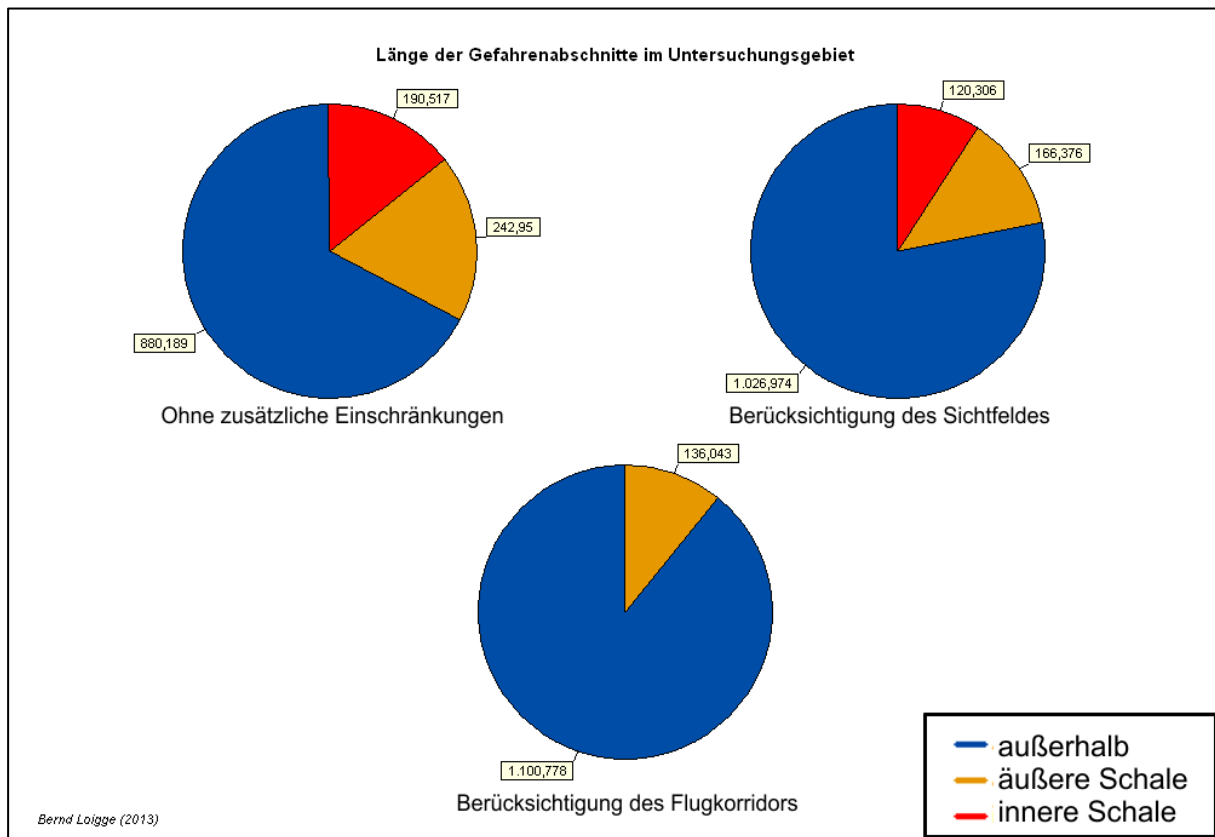


Abb. 68 Verteilung und Längenangaben der Gefahrenbereiche im Untersuchungsgebiet (eigene Bearbeitung (2013))

Ergebnisse	c) Nachdem das Terrain und etwaige Gebäude mit Hilfe einer Skylineanalyse in das Modell integriert wurden (siehe Abb. 69), kann man feststellen, dass diese Parameter einen geringen Einfluss haben. Vergleicht man die beiden oberen Diagramme in Abb. 68, so sieht man, dass es sowohl zu einer Reduktion des sehr hohen Gefahrenbereiches (-70 Meter) als auch des hohen Gefahrenbereiches (-75 Meter) gekommen ist.
-------------------	---

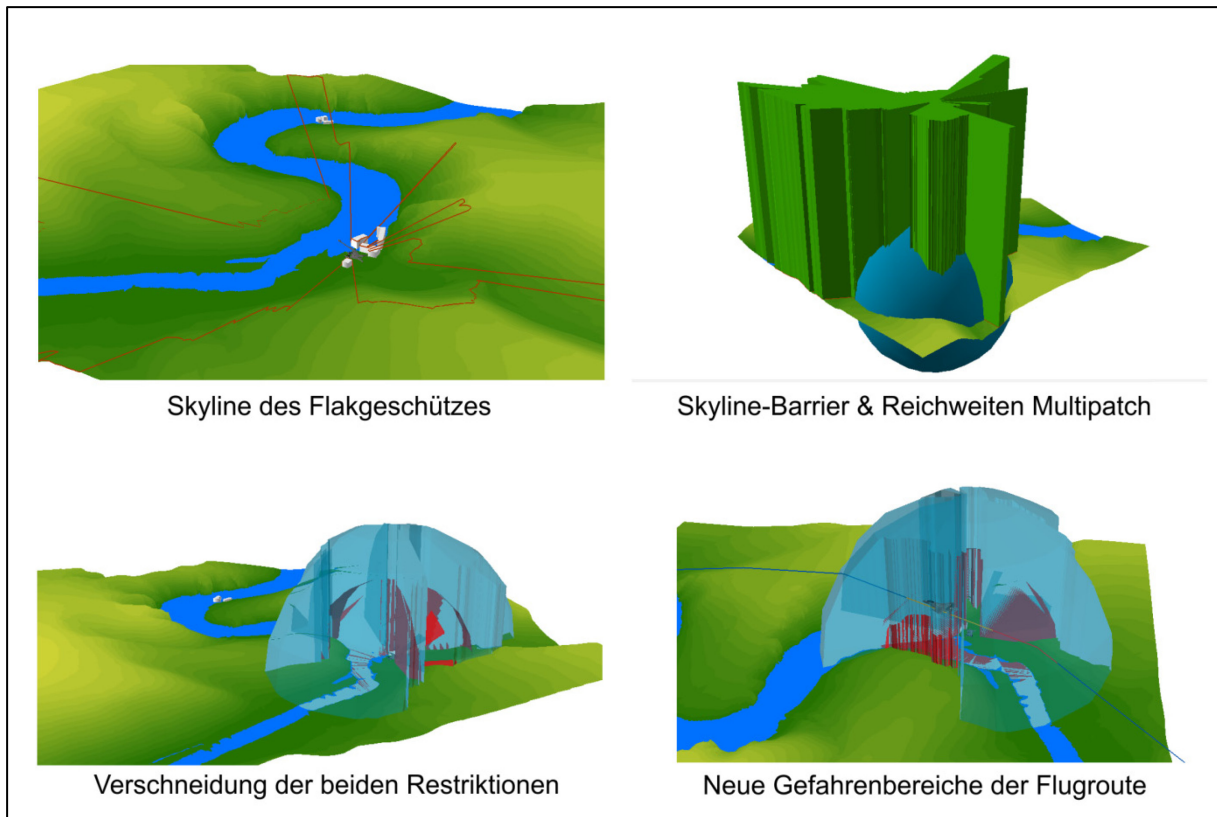


Abb. 69 Teilergebnisse bei der Berechnung des Einflusses des Terrains bzw. der Gebäude auf die Gefahrenbereiche (eigene Bearbeitung (2013))

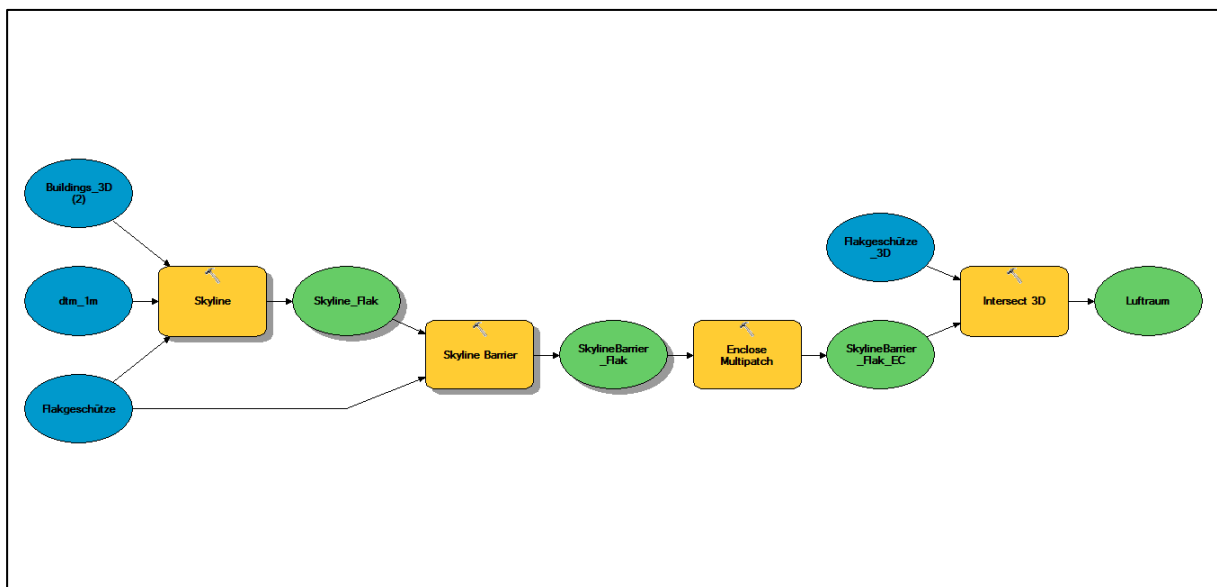


Abb. 70 Berechnung des Einflusses des Terrains bzw. der Gebäude auf die Gefahrenbereiche der Flugroute (eigene Bearbeitung (2013))

Ergebnisse	d) Unter Berücksichtigung des möglichen Flugkorridors und einer angepassten Flugroute, verändern sich die Gefahrenbereiche drastisch. Die neue Flugroute hat nun keinen Abschnitt mehr in welchem die Gefahr getroffen zu werden sehr hoch ist und der Bereich, in welchem eine hohe Gefahr besteht, hat sich auf rund 136 Meter (-30 Meter) verringert (siehe Abb. 68. & Abb. 71).
-------------------	---

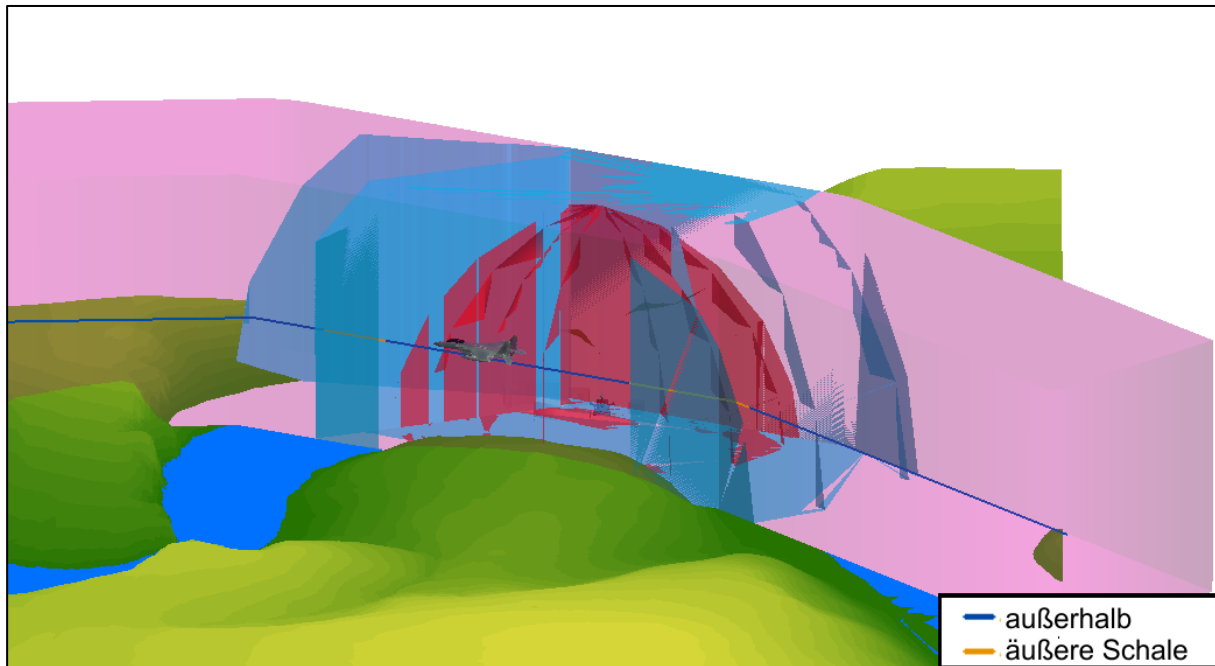


Abb. 71 Unterschiedliche Gefahrenbereiche unter Berücksichtigung einer Verschiebung der Flugroute innerhalb eines Flugkorridors und der Sichtfeldeinschränkung (eigene Bearbeitung (2013))

Anwendungsbeispiel „Volumenberechnung – 3D Netzwerk“

Problem-stellung	Ein Unternehmen möchte ein Hochhaus in der Region der UNO-City um 4 Stockwerke erhöhen. Ein Stockwerk hat dabei eine Höhe von 3,5 Meter. Zusätzlich soll eine Tiefgarage ausgebaut werden, welche insgesamt 5 Stockwerke zu je 2,5 Meter Höhe umfassen soll. Dabei soll die Tiefgarage eine Grundfläche von 22500 Quadratmeter (150 x 150 Meter) je Stockwerk besitzen und zentral unter dem Gebäude liegen. Zusätzlich sollen Notwege und Punktobjekte für Feuerlöscher visualisiert werden.
Frage-stellungen	a) Wie viel Volumenzuwachs würde das oberirdische Bauvorhaben bedeuten? b) Wie viel Volumenzuwachs würde das unterirdische Bauvorhaben bedeuten (+ visuelle Veranschaulichung)? c) Gibt es eine Möglichkeit der Ermittlung des kürzesten Weges innerhalb der Tiefgarage entlang der Notwege?

Funktionen	a) 1. Exportieren des ausgewählten Hochhauses mit der Funktion Export Data	
	2. Erzeugen eines erhöhten Duplikates des Hochhauses mit der Funktion Duplicate Vertical	• Um 14 Meter (4 Stockwerke zu je 3,5 Meter)
	3. Differenz zwischen dem Original und dem Duplikaten bilden mittels Difference 3D	• Input Feature: Hochhaus_3D • Subtract Feature: Hochhaus_3D_Duplicate
	4. Berechnung des Volumens der Erweiterung mittels der Funktion Add Z Information	• Input Feature: Hochhaus_3D_Erweiterung • Output Property: Volume
	b) 1. Erstellen einer fünfstöckigen Tiefgarage mit Hilfe des 3D Editors	
	2. Exportieren des untersten Geschosses der Tiefgarage als eignen Layer durch Export Data	
	3. Berechnen der Höhe des untersten Geschosses relativ zur Geländeoberfläche mittels Add Z Information	• Input Feature Class: UG5 • Output Property: Z_MEAN
	4. Berechnung des Volumens zwischen dem untersten Geschoss und der Oberfläche mittels Polygon Volume	• Input Surface: las_tin_dtm • Input Feature Class: UG5 • Height Field: Z_MEAN • Reference Plane: ABOVE • Volume Field: Volume • Surface Area Field SArea
	5. Erzeugen eines TINs aus der Feature Klasse des untersten Geschosses mittels Create TIN	• Output TIN: ug5_tin • Coordinate System: MGI_Austria_GK_East • Input Feature Class: UG5
	6. Extrudieren eines Multipatch Features zwischen der Oberfläche und dem untersten Geschoss und der Oberfläche mittels Extrude Between	• Input TIN(1): las_tin_dtm • Input TIN(2): ug5_tin • Input Feature Class: UG5 • Output Feature Class: Extrude-between

	c) 1. Erstellen eines Fußweg-Netzwerkes und digitalisieren der Objekte (Feuerlöscher, Person) in der Tiefgarage mit Treppenaufgängen mit Hilfe des 3D Editors	
	2. Erstellen eines Network Datasets	• Participating Feature Classes: Notwege • Model Turns: Yes • Connectivity Policy: End Points • Using Z Coordinate Values from Geometry • Attribute – Shape: ○ Name: Length ○ Usage: Cost ○ Units: Meters ○ Data Type: Double • Driving Directions: No
	3. Erstellen eines Route Layers	• Impedance Attribute: Length • Restrictions: None
	4. Hinzufügen von Standorten zur Netzwerkanalyse mit dem Befehl Add Locations	• Sub Layer: Stops • Input Locations: Standorte (Feuerlöscher & Person) • Search Tolerance: 20 Meter • Search Criteria: Notwege – Shape • Find Closest among All Classes • Append to Existing Locations
	5. Durchführung der Analyse mit Solve	• Ignore Invalid Locations • Terminate on Solve Error
Ergebnisse	a) Die zusätzlichen 14 Meter Höhe bewirken einen Volumenzuwachs von 15 520 Kubikmeter (siehe Abb. 72).	

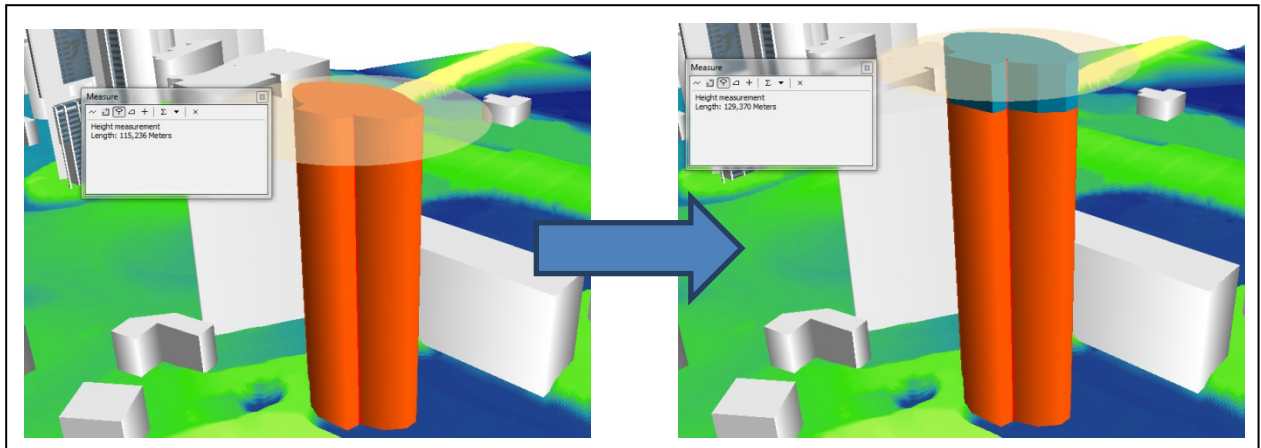


Abb. 72 Erhöhung des Hochhauses um 14 Meter (eigene Bearbeitung (2013))

Ergebnisse	b) Der Volumenzuwachs für den Bau der Tiefgarage würde 725 152 Kubikmeter betragen. Bei der Volumenberechnung wurde das Volumen von der Oberfläche bis zum untersten Geschoss der Tiefgarage berechnet (siehe Abb. 73).
-------------------	--

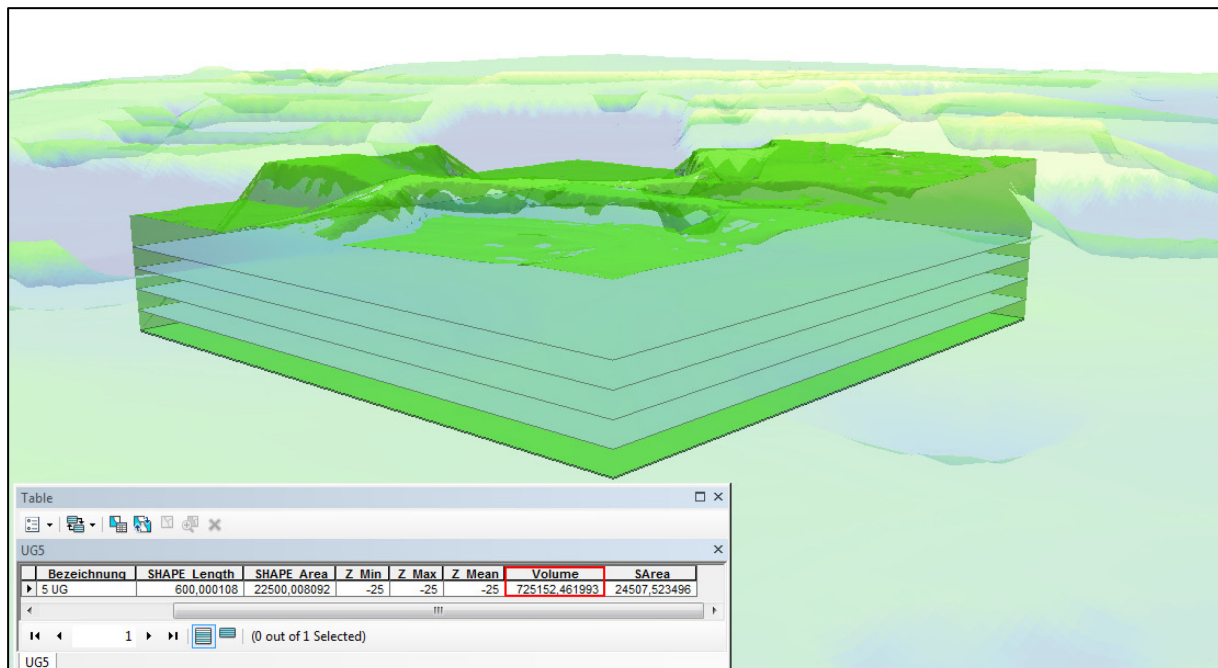


Abb. 73 Volumen zwischen der Oberfläche und dem untersten Geschoss der geplanten Tiefgarage (eigene Bearbeitung (2013))

Ergebnisse	c) Mithilfe des Netzwerkanalysten lassen sich unter der Rücksichtnahme auf die Z-Values der Strecken auch Fragen die Erreichbarkeit innerhalb eines 3D Netzwerkes betreffend beantworten. In Abb. 74 wurde der kürzeste Weg (nach Distanz) zwischen einer Person, die sich in Ebene fünf der Tiefgarage befindet, zu einem Feuerlöscher, welcher sich in Ebene 2 befindet, errechnet. In Abb. 75 ist der Modellablauf dargestellt.
------------	--

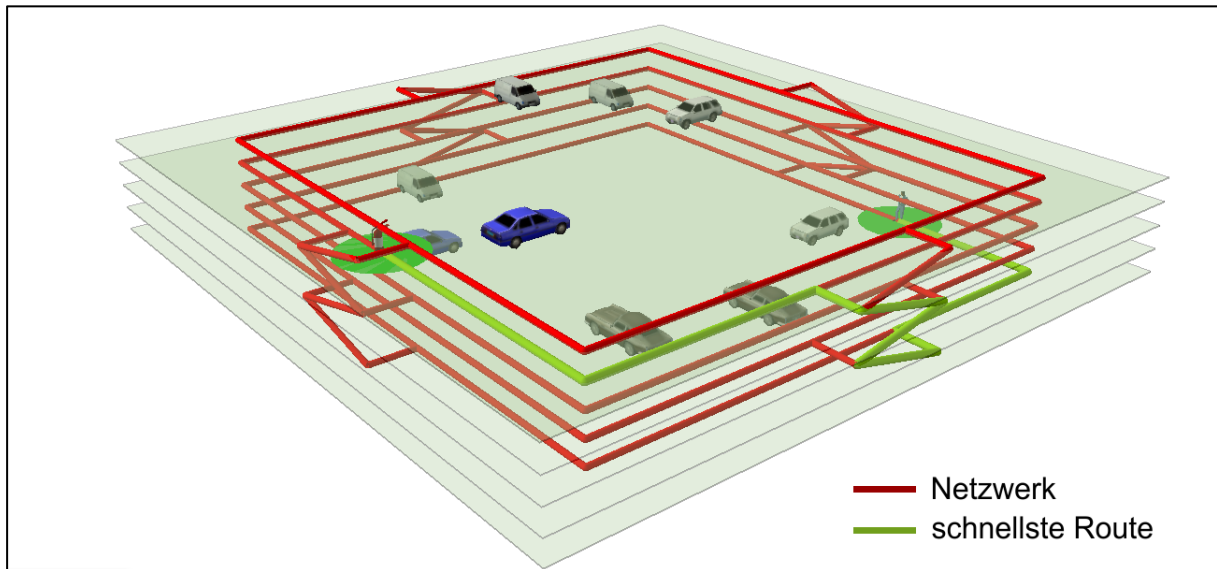


Abb. 74 Schnellsten Route (nach Distanz) die eine Person innerhalb der Tiefgarage benötigen würde um zu einem Feuerlöscher zu gelangen (eigene Bearbeitung (2013))

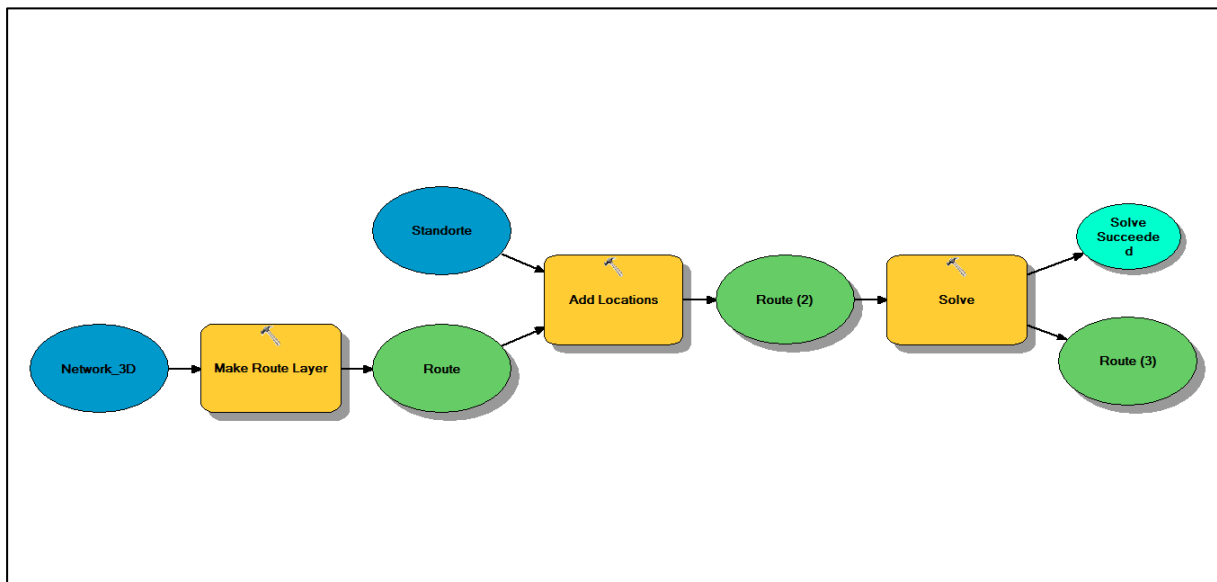


Abb. 75 Berechnung des Netzwerkes (eigene Bearbeitung (2013))

Anwendungsbeispiel „Exposition, Hangneigung und Sichtfeld“

Problem-stellung	Ein Energieunternehmen sucht in Raabs an der Thaya geeignete Standorte für das Aufstellen von Windrädern. Unterschiedliche Kriterien werden dabei herangezogen, welche Ausschlaggebend für einen Standort sind	
Frage-stellungen	a) Wo liegen Gebiete, welche eine maximale Hangneigung von 10 Grad aufweisen?	
	b) Wo liegen Gebiete, welche Nordexponiert (zwischen 315 und 45 Grad) sind?	
	c) Welche Gebiete sind maximal 175 Meter von der durchs UG verlaufenden Stromleitung entfernt?	
	d) Welche der Gebiete haben eine Fläche größer 5300 Quadratmeter?	
	e) Sind ausgewählte Windräder von allen Punkten innerhalb des Untersuchungsgebietes einsehbar?	
Funktionen	a) 1. Erstellen eines Expositionsrasters mittels der Funktion Aspect	• Input Raster: dtm_1m
	2. Reklassifizieren der Werte des Expositionsrasters mit der Funktion Reclassify	• Reclass Field: Value • Reclassification: ○ -1 – 45 → 1 ○ 45 – 315 → NoData ○ 315 – 360 → 1
	b) 1. Erstellen eines Hangneigungsrasters mittels Slope	• Input Raster: dtm_1m
	2. Reklassifizieren der Werte des Expositionsrasters mit der Funktion Reclassify	• Reclass Field: Value • Reclassification: ○ 0 – 10 → 1 ○ 10 – 84,94 → NoData
	c) Erstellen eines Buffers entlang der Stromleitung mittels der Funktion Buffer	• Input Feature: Stromleitung • Distance: Linear Unit 175 (Meter) • Side Type: FULL • End Type: ROUND • Dissolve Type: NONE
	d) 1. Verschneiden der in den Punkten a) – c) berechneten Ergebnisse mittels der Funktion Intersect	
	2. Exportieren jener Flächen, welche eine größere SHAPE.Area haben als 5300 Meter mittels der Funktion Export Data	

	e) 1. Erstellen von Observer Points für die ausgewählten Windräder 2. Durchführen einer Sichtfeldanalyse mittels der Funktion Viewshed	• Input Raster: dtm_1m • Input Point Observer: Observer_Viewshed • Z factor: 1
Ergebnis	a-d) Durch die einzelnen Analyseschritte konnten Gunstflächen für das Errichten von Windrädern ermittelt werden. In Abb. 77 ist das Modell und in Abb. 76 die einzelnen Analyseschritte abgebildet. In Abb. 78 sind die finalen Gunstflächen in ArcScene dargestellt.	

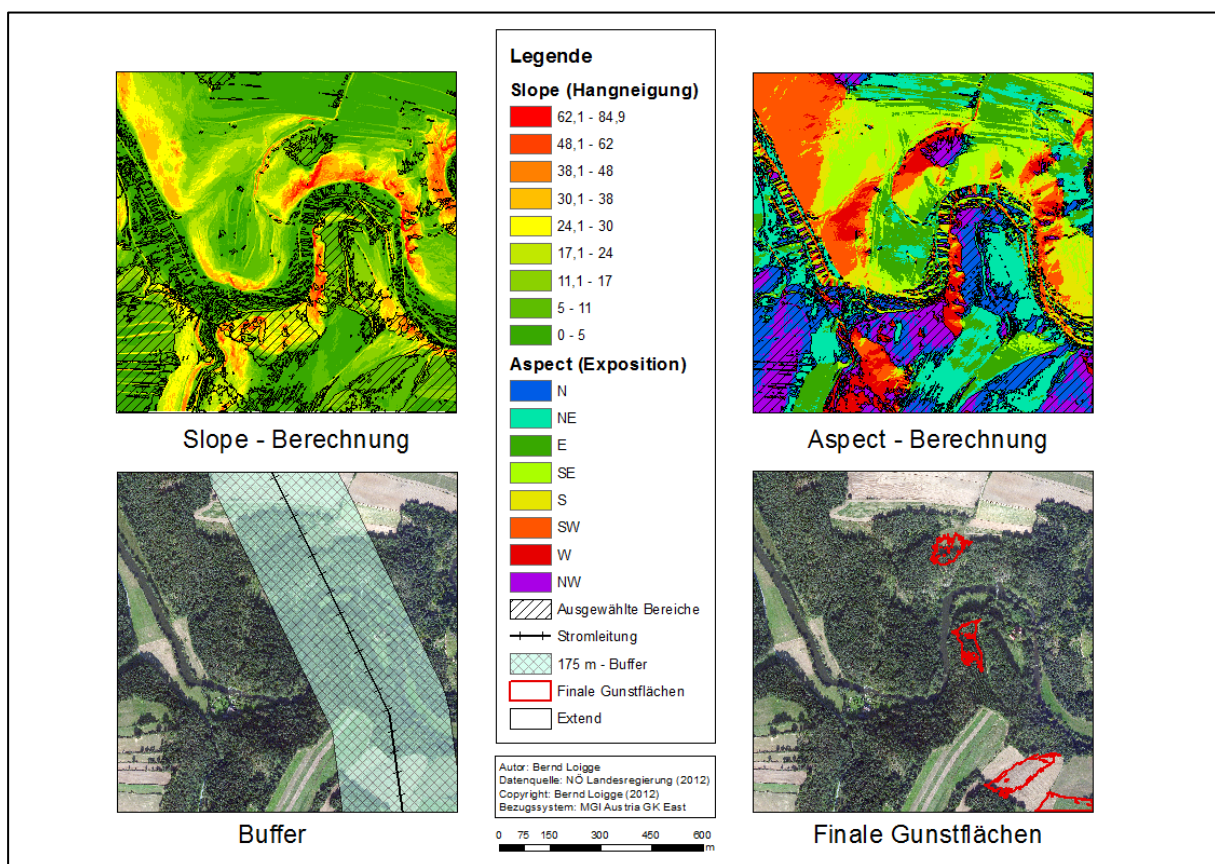


Abb. 76 Teilergebnisse bei der Berechnung der Gunstflächen (eigene Bearbeitung (2013))

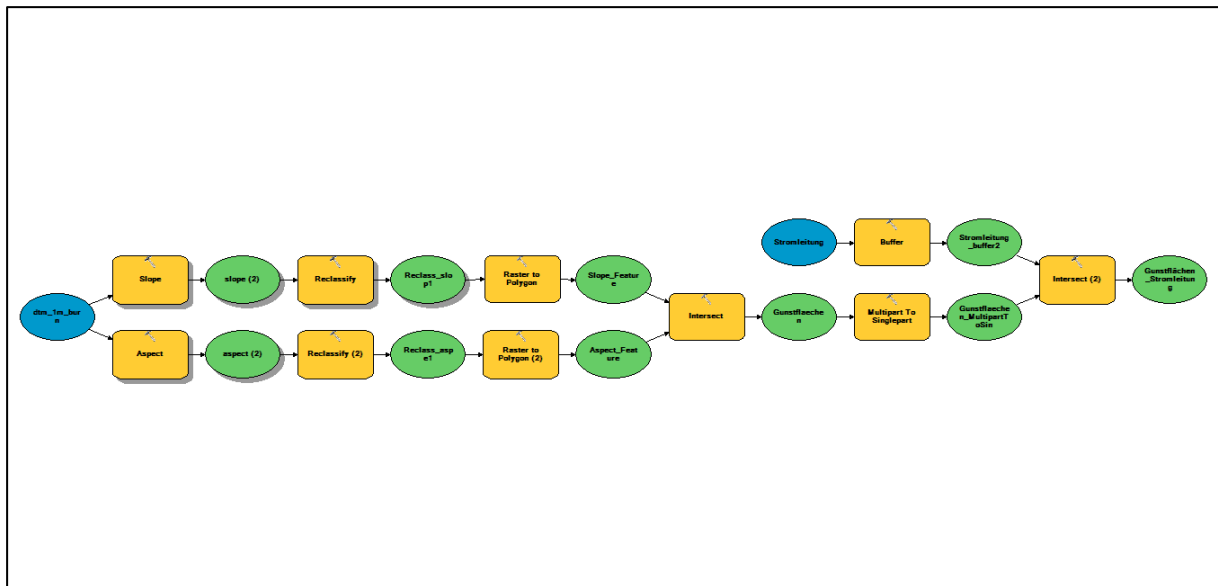


Abb. 77 Berechnung der Gunstflächen (eigene Bearbeitung (2013))

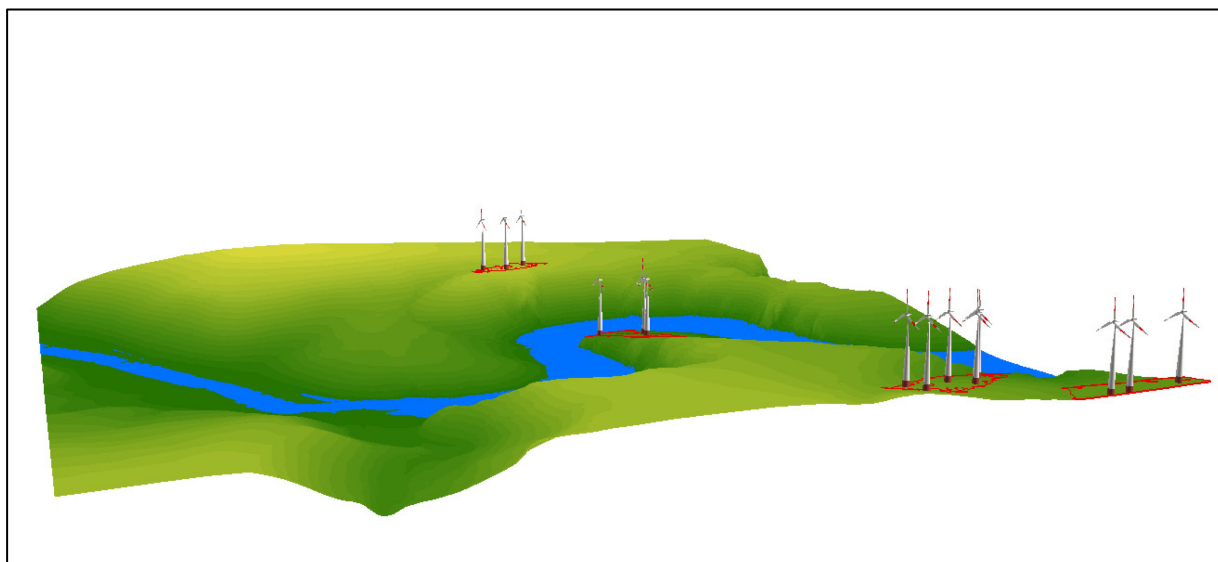


Abb. 78 Darstellung der Windräder (eigene Bearbeitung (2013))

Ergebnis	e) Mithilfe der Sichtfeldanalyse konnten Bereiche innerhalb des UG definiert werden, welche von den Observerpoints eingesehen werden bzw. nicht eingesehen werden können (siehe Abb. 79).
-----------------	---

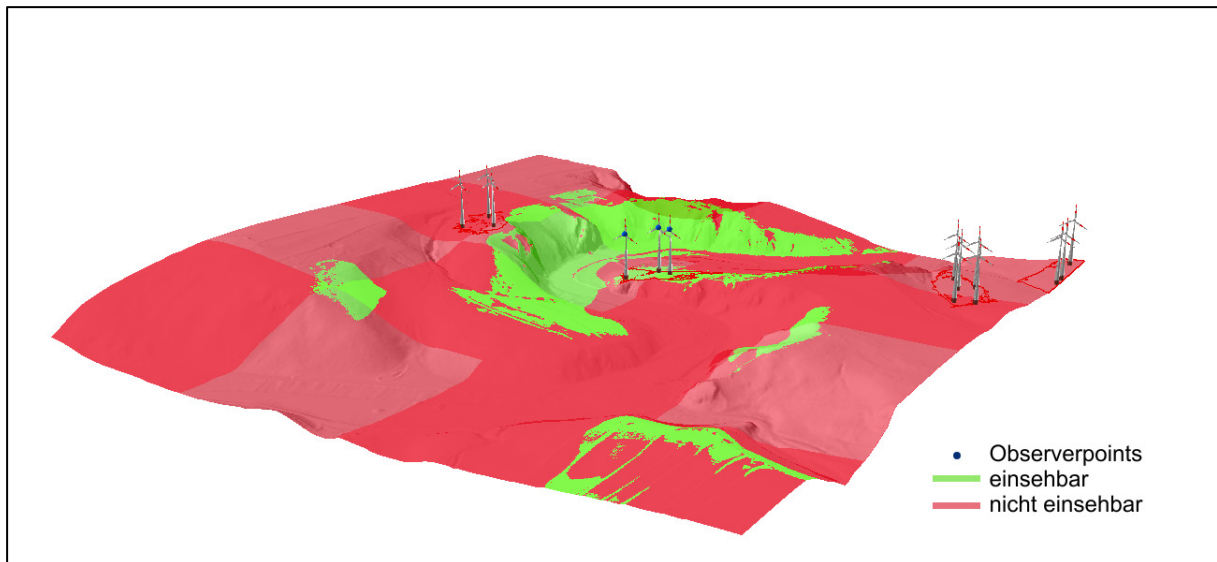


Abb. 79 Einsehbare und nicht einsehbare Bereiche ausgewählter Windränder im UG (eigene Bearbeitung (2013))

Anwendungsbeispiel „Sonnenschattenvolumen“

Problem-stellung	Im UG Raabs an der Thaya soll das Sonnenschattenvolumen der dort befindlichen Gebäude berechnet werden.	
Frage-stellungen	Welchen Verlauf nehmen die Schatten der Gebäude am 13.02.2013?	
Funktionen	1. Berechnen der Schattenbildung für den 13.02.2013 mittels der Funktion <i>SunShadowVolume</i>	• Input Feature: Buildings_3D • Start Date and Time: 13.02.2013 – 08:00 Uhr • End Date and Time: 13.02.2013 – 17:00 Uhr • Iteration Interval: 0,5 • Iteration Unit: Hours
Ergebnis	Mithilfe der Funktion Sun Shadow Volume kann sehr gut demonstriert werden, wie an einem gegebenen Datum und zu einer gegebenen Uhrzeit von definierten Objekten Schatten gebildet werden (siehe Abb. 80). Die Schatten können zudem, aufgrund des erzeugten Time Fields, mit Hilfe der <i>Time Slider</i> Funktion, sehr gut visuell veranschaulicht werden oder über eine Animationserstellung exportiert werden.	

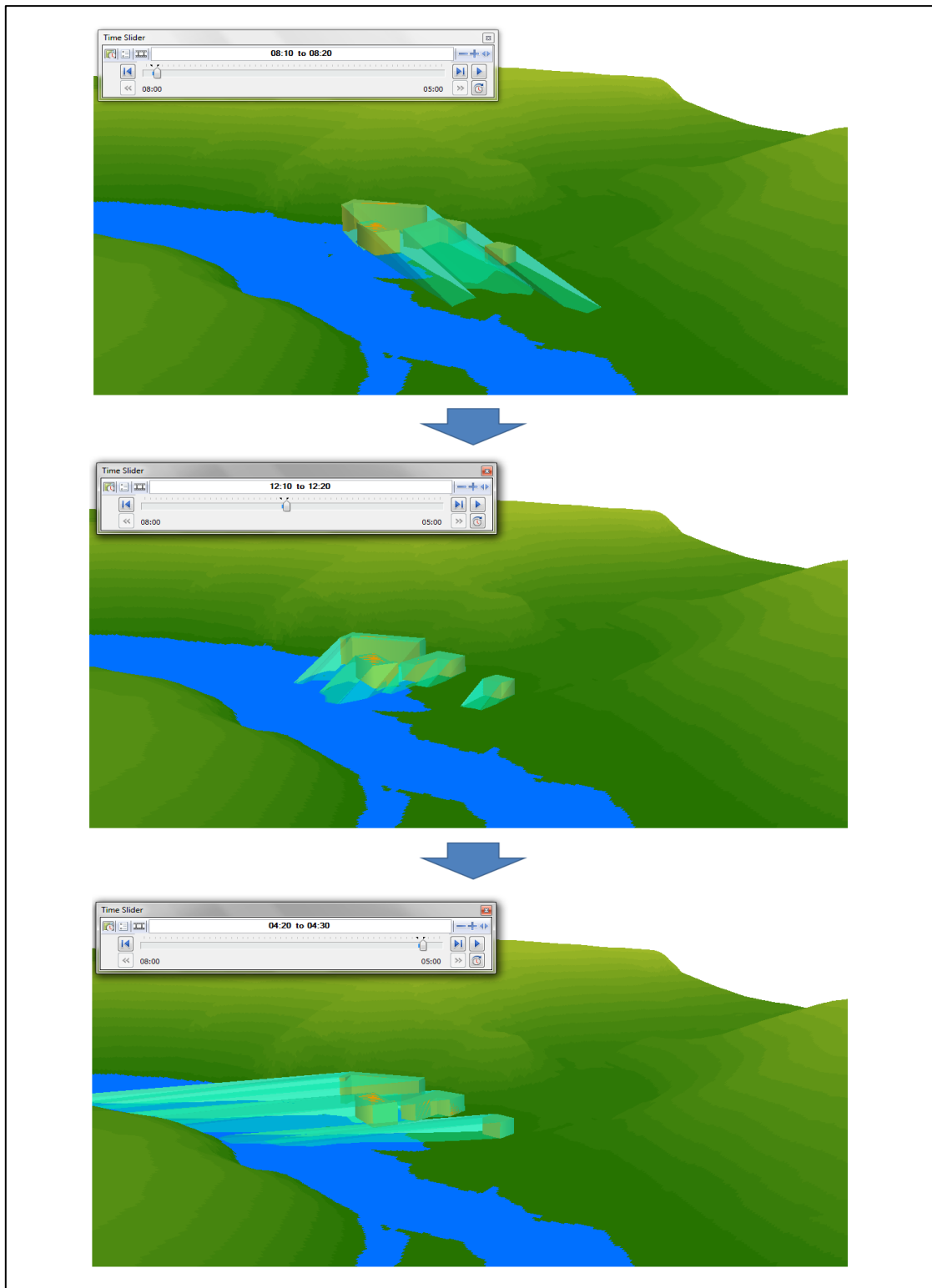


Abb. 80 Schattenbildung der Gebäude zu drei ausgewählten Zeitpunkten (08:10, 12:10, 16:20) am 13.02.2013 im UG Raabs an der Thaya (eigene Bearbeitung (2013))

6.5. Beurteilung der Funktionen der 3D Analyst Toolbox

Die Toolbox des 3D Analyst enthält unterschiedlichste Geoverarbeitungswerkzeuge, welche allesamt eine Vielzahl an Analyse-, Datenmanagement und Datenkonvertierungsmöglichkeiten bieten. Die in den praktischen Beispielen verwendeten Funktionen sollen dabei demonstrativ die Möglichkeiten der Umsetzung dieser Analysetools zeigen. Innerhalb der Toolbox sind die einzelnen Funktionen in Toolsets zusammengefasst, auf welche nun im Einzelnen eingegangen wird.

Das Toolset **3D Features** bietet Funktionen an, welche vor allem zum Auswerten von geometrischen Eigenschaften und den Beziehungen zwischen den dreidimensionalen Features gedacht sind. Wie auch bei den **Analysis Tools** lassen sich beispielsweise Verschneidungen (**Intersect 3D**) oder Puffer (**Buffer 3D**) durchführen. Ein Vorteil dieser ganzen Analysen liegt meiner Meinung nach darin, dass man beim Output zwischen unterschiedlichen Geometrietypen wählen kann (SOLID, SURFACE, LINE), was redundante Konvertierungsarbeit erspart. Zudem lässt sich beispielsweise beim **Buffer 3D** Tool die Qualität des ausgegebenen Multipatch Feature variieren, was für unterschiedliche Fragestellungen von Vorteil sein kann. Zwei weitere sehr hilfreiche Tools dieses Toolsets sind meiner Meinung nach das **Feature to 3D by Attribute** und das **Add Z Information** Tool, welche es ermöglichen Daten, die zweidimensional vorliegen, aufgrund weiterer Informationen (z.B.: durch ein DSM), in den dreidimensionalen Raum zu exportieren. Auch können für Multipatch Feature Volumina oder andere Parameter wie Hangneigung etc. berechnet werden. Ein Nachteil bei den unterschiedlichen Verschneidungs- und Vereinigungsoperatoren ist die Instabilität der Funktionen. Das wichtigste Kriterium dabei ist immer das Vorliegen von geschlossenen Multipatch Features (besonders wenn der Output einen volumenhaften (SOLID) Geometrietyp aufweisen soll). Mithilfe der Funktion **Enclose Multipatch** ist es zwar möglich solche Objekte zu generieren, doch hat es sich während der Analysen oft als schwierig bzw. langwierig herausgestellt, bis ein adäquates Ergebnis vorgelegen ist. Alles in allem sehe ich in diesem Toolset sehr großes Potenzial, da es sich dabei um grundlegende Funktionen handelt, welche permanent benötigt werden.

Das Toolset **Conversion** stellt eine breite Palette von Funktionen zum Konvertieren verschiedenster Datentypen bereit. Neben alt bekannten Funktionen wie das Umwandeln von GRID- (Raster), TIN- oder Terrain-Datasets, bietet ArcGIS nun auch vermehrt die Möglichkeit LiDAR Daten zu importieren und umzuwandeln. Dabei sind vor allem die Funktionen **LAS to Multipoint** und **LAS Dataset to TIN** von Bedeutung, welche ein schnelles Umwandeln der Daten innerhalb des Projektes ermöglichen. Zusätzlich lassen sich mit der Funktion **Point File Information** wichtige Informationen über LiDAR- und andere Punktdaten erstellen, die für andere Werkzeuge essentiell sind. Ein ebenfalls meiner Meinung nach sehr wichtiges Tool zur Generierung von Multipatch Features ist das **Layer 3D to Feature Class** Tool, welches beispielsweise „aufgezogene“ Polygonflächen in ArcScene in echte 3D Features umwandelt. Zudem bietet das **Conversion** Toolset die Möglichkeit andere 3D Modelle, welche mit Animationsprogrammen erstellt wurden, zu importieren, was vor allem

für die Visualisierung des Projektes von Vorteil ist. Da die meisten Tools dieses Toolsets schon lange in ArcGIS integriert sind, gibt es hier kaum Probleme und die Werkzeuge laufen sehr stabil.

Das **Data Management** Toolset bietet Möglichkeiten die unterschiedlichen Oberflächenmodelle zu editieren. Auch hier gibt es eine Erneuerung im Bereich der LiDAR Daten. So können die Datenpunkte nach LAS-Klassencodes klassifiziert werden. Die Information stammt dabei entweder direkt aus der Aufnahme oder kann manuell erstellt werden. Dies wurde jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht gemacht und kann daher auch nicht bewertet werden.

Im Toolset **Triangulated Surface** gibt es unterschiedliche Analysewerkzeuge zur Bestimmung der Oberflächeneigenschaften von TIN-, Terrain- und LAS-Datasets. Ein neues, sehr hilfreiches Tool ist das **Extrude Between** Werkzeug, welches das Erstellen von Multipatch Features zwischen zwei TINs ermöglicht. Hier könnte man vielleicht in neueren Versionen auch die Möglichkeit des Aufziehens zwischen Polygonflächen oder anderen Formaten ermöglichen, da man sonst immer zuerst in ein TIN konvertieren muss. Mit **dem Interpolate Polygon to Multipatch** lassen sich ebenfalls Multipatch Feature erzeugen, welche ein Abbild einer Oberfläche darstellen, die in weiteren Schritten für Verschneidungen etc. verwendet werden können. Leider gibt es auch hier teilweise Probleme bei der Generierung, welche erst nach langem „Herumprobieren“ gelöst werden konnten. Wie auch in der interaktiven Toolbar gibt es hier die Möglichkeit der Generierung von Konturlinien mittels der Funktion **Surface Contour**. Dabei werden für das gesamte UG Konturlinien erstellt, deren Abstand definiert werden kann, was besonders in 2D Darstellungen dem Betrachter eine große Hilfe zur Orientierung und zur Interpretation ist. Diese Funktionen, wie auch die Hangneigungs- und Expositionsfunktionen (**Surface Aspect** und **Surface Slope**) laufen sehr stabil.

Innerhalb des Toolsets **Visibility** geht es primär um unterschiedliche Analysen die Sichtbarkeit betreffend. Neben dem schon länger vorhandenen Werkzeug **Visibility** kann man durch die Funktionen **Sycline**, **Sycline Barrier** und **Skyline Graph** Auskünfte über das was von einem Standpunkt aus gesehen werden kann, in unterschiedlichsten Ausgabeprodukten (Linien Feature, Multipatch Feature, Graph), erstellen, was meiner Meinung nach sehr hilfreich vor allem im Bereich der Raumplanung ist. Auch können, wie im praktischen Beispiel veranschaulicht, Fragen im militärischen Bereich damit geklärt werden. Eine neue Funktion dieses Toolsets stellte das Werkzeug **Sun Shadow Volume** dar, welches für einen bestimmten Zeitpunkt oder für einen definierten Zeitraum, das Schattenvolumen von Multipatch Features berechnet. Hier ist vor allem die Möglichkeit der Darstellung als Time-Layer hervorzuheben, wodurch man sehr schnell einen Überblick über Schattenentwicklungen erhält. Leider ist es mir nicht gelungen, die erstellten Schatten mit anderen Multipatch Dateien zu verschneiden, was vielleicht als eigenes Tool oder als zusätzliche Einstellungsmöglichkeit innerhalb des Tools in neueren Versionen angedacht werden kann. Außerdem werden die Schatten, welche durchs Gelände geworfen werden, nicht berücksichtigt. Eine Integration des Geländes wäre somit ebenfalls wünschenswert.

7. Zusammenfassung

Ziel dieser Masterarbeit war es, zunächst einen Überblick über die Einsatzgebiete der 3D Geoinformation zu schaffen. Dabei wurden die aktuellen Möglichkeiten von unterschiedlichen kommerziellen und OpenSource Softwaresolutions angeführt. Um den Einsatz von 3D Geoinformationssystemen besser zu veranschaulichen, wurden unterschiedliche Anwendungsbereiche aus der Raumplanung, der Geologie, der Meteorologie, dem Katastrophenmanagement oder der Aviatik beschrieben. Zudem konnte ein kleiner Überblick über die geschichtliche Entwicklung des Forschungsfaches gegeben werden. Somit kann die erste Forschungsfrage als beantwortet angesehen werden.

Da die Grundlage für die weiteren Modellierungen und Analysen durch digital erfasste Daten gebildet wird, wurde der 3D Datenerfassung ein eigenes Kapitel gewidmet. In diesem wurden die drei wichtigsten und zum Teil auch für diese Arbeit relevanten Aufnahmemethoden, nämlich die digitale Photogrammetrie, das terrestrische Laserscanning und das Airborne Laserscanning (LiDAR Daten), erklärt. Im anschließenden Kapitel wurden zudem unterschiedliche Datenformate und Standards in der 3D Geoinformation besprochen.

Den ersten empirischen Teil der Arbeit bildet die praktische Modellerstellung anhand von zwei Untersuchungsgebieten. Dabei wurde ein Untersuchungsgebiet für den ländlichen Raum (Raabs an der Thaya) und ein Untersuchungsgebiet für den urbanen Raum (UNO-City Wien) ausgesucht. Ziel war es dabei, aus den zur Verfügung stehenden Daten (LiDAR Rohdaten) digitale Oberflächenmodelle (DSM, DTM und DBM) zu generieren. Nachdem die Ausgangsdaten entsprechend aufbereitet wurden, wurden in einem ersten Schritt zunächst die Gebäudegrundrisse und die Vegetation (differenziert nach einzelnen Bäumen und Waldflächen), mittels der Zusatzextension LiDAR Analyst in ArcGIS, extrahiert. Im nächsten Schritt wurden die Gebäudehöhen aus den LiDAR Daten errechnet und die Gebäude, in Form eines Basismodells, nachmodelliert. Zum Abschluss wurden alle vorhandenen Ausgangsdaten (Gebäude, Straßen und Vegetation) mittels Modifikation des Terrains in dieses integriert. Die so erzeugten Modelle wurden dann im nächsten Punkt für die eigentlichen Analysen verwendet. Es konnte somit gezeigt werden, dass es mit ArcGIS, unter der Verwendung der Zusatzextension LiDAR Analyst möglich ist analysefähige DTMs, DSMs und DBMs zu erzeugen.

Im zweiten Hauptkapitel dieser Arbeit, wurden unterschiedlichste 3D Analysemöglichkeiten vorgestellt und anhand praktischer Beispiele demonstriert. Dabei kam ausschließlich der ArcGIS 3D Analyst mit den unterschiedlichen Funktionen zur Anwendung.

Zunächst wurden die interaktiven Tools der ArcGIS 3D Analyst Toolbar vorgestellt. Neben den Werkzeugen Konturlinie und Steilste Verbindung, welche auf das DSM angewendet wurden, konnten mit dem Sichtlinien Werkzeug Sichtfeldeinschränkungen, durch Gebäude oder andere Hindernisse, berechnet werden. Zusätzlich wurde die Graphen-Export Funktion vorgestellt, welche besonders hilfreich bei der Analyse von Höhenunterschieden ist.

Abschließend wurden die Werkzeuge der 3D Analyst Toolbox in praktischen Beispielen miteinander kombiniert. Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf unterschiedlichste Sichtfeld- und Sichtbarkeitsanalysen gelegt. So wurde eine Sichtbarkeitsanalyse für eine Überwachungskamera, welche sich auf einem Hochhaus befindet, entlang eines Weges durchgeführt oder unterschiedliche Gefahrenbereiche für ein Flugzeug im Sichtfeld eines Flakgeschützes ermittelt. Im Rahmen der Sichtbarkeitsanalysen wurde außerdem noch das Sonnenschattenvolumen von ausgewählten Gebäuden errechnet. Auch konnten Volumina unterschiedlicher Form berechnet werden und eine 3D Netzwerkanalyse, für die kürzeste Distanz innerhalb einer fiktiven Tiefgarage, wurde berechnet. Für all diese Analysebeispiele war es oft notwendig weitere Werkzeuge der 3D Analyst Toolbox zu verwenden und in Modellen zu integrieren. So konnten Verschneidungsfunktionen, Konvertierungsfunktionen, Abfragefunktionen und viele andere mehr, vorgestellt und anschließend kritisch beurteilt werden.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Modellierung und Analyse von dreidimensionalen Geodaten ein spannender und sehr zukunftssträchtiger Bereich der Geoinformation ist, welcher sich rasant in den letzten Jahrzehnten entwickelt hat und mit Sicherheit in den kommenden Jahren weiterentwickeln wird.

Literaturverzeichnis

- ABDUHL-RAHMAN, A. & M. PILOUK (2008): Spatial Data Modelling for 3D GIS. Springer. Berlin und Heidelberg.
- ABDUHL-RAHMAN, A., S. ZLATANOVA, M. PILOUK (2001): The 3D GIS Software Development: global efforts from researchers and vendors. In: Geoinformation Science Journal.
- AUBRECHT, C., A. CHLAUPEK, K. STEINOCHER (2009): Grundlagen und Einsatzmöglichkeiten von Airborne Laserscanning. In: Skript zur Vorlesung Bildverarbeitung & Fernerkundung. Universität Wien
- AUSTRIA PRESSE AGENTUR (1987): Die Wiener UNO-City. In: Apa Historisch. Dossiers aus Innenpolitik. <http://www.historisch.apa.at/cms/apa/historisch/dossier.html> 20.2.2013.
- AUTODESK (2012): Neu in AutoCAD Architecture 2012. <http://exchange.autodesk.com/autocadarchitecture/deu>. 21.2.2013.
- ARN, S. & M. OEHRLI (2004): Kartengeschichte – Disposition, Definition. Bern.
- ATTWENGER, M. & C. BRIESE (2012): Vergleich digitaler Geländemodelle aus Photogrammetrie und Laserscanning. Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung. TU Wien.
- BECKER, L., L. BERNARD, J. DÖLLNER, S. HAMMELBECK, K.H. HINRICHS, T. KRÜGER, B. SCHMIDT, U. STREIT (2002): Integration dynamischer Atmosphärenmodelle mit einem (3+1)-dimensionalen objektorientierten GIS-Kern. Münster.
- BERNARD, L. (2005): 3D-GIS und –Atmosphärenmodelle für die urbane und regionale Umweltplanung. In: 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Coors/Zipf (Hrsg.). Wichmann. Heidelberg.
- BILL, R. (2010): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Heidelberg. Wichmann. Berlin und Offenbach.
- BITTER, P. & E. LEU (2010): 3D GIS- Anwendungen der Aviatik. In: Vorträge im Rahmen des Schweizer Forum für Geoinformation. Zürich.
- BURROUGH, P., A. DEURSEN, W. VAN, G. HEUVELING (1988): Linking Spatial Process Models and GIS: A Marriage of Convenience of a Blossoming Partnership? GIS/LIS. Bethesda.
- BOOCH, G., RUMBAUCH, J., I. JACOBSON (1997): Unified Modelling Language User Guide. Addison-Wesley.
- BÖHLER, W. (2005): Dreidimensionale Erfassung von Denkmälern. In: 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Coors/Zipf (Hrsg.). Wichmann. Heidelberg.

- CITYTYPE (Hrsg.) (2013): UNO City – Vienna International Centre (VIC). <http://www.wien-vienna.at/behoerden.php?ID=1264>. 20.2.2013.
- COURANT, R., H. ROBBINS, IAN STEWART (1996): What Is Mathematics? An Elementary Approach to Ideas and Methods. New York: Oxford University Press.
- DELAUNAY, B. (1934): Sur la sphere vide. In: Bulletin of Academy of Sciences of the USSR.
- ELFERS, H., H. BOMBIEN, H. FRANK (2004): Wege zur 3D-Geologie. Personenkreis 3D der BIS-Steuerungsgruppe. Krefeld.
- ESRI (Hrsg.) (2008): The Multipatch geometry Type. An Esri White Paper. <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/multipatch-geometry-type.pdf>. 23.2.2013.
- ESRI (Hrsg.) (2012): 3D City – Data Preparation. Tutorial 1 of 6 – 3D City Modeling. <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=1a58cae727e24927be5a113e52557323>. 25.2.2013.
- ESRI (Hrsg.) (2013a): Esri-Grid-Format. <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009t0000000w000000>. 24.2.2013.
- ESRI (Hrsg.) (2013b): Using LiDAR in Arc GIS – supported LAS Data Formats. <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/015w0000003z000000>. 24.3.2013.
- ESRI (Hrsg.) (2013c): What is a terrain dataset? <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/005v00000002000000>. 24.3.2013.
- ESRI (Hrsg.) (2013d): Import 3D Files (3D Analyst). <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/00q900000097000000>. 25.2.2013.
- ESRI (Hrsg.) (2013e): An overview of the 3D Analyst toolbox. http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/An_overview_of_the_3D_Analyst_toolbox/00q900000070000000/. 25.2.2013.
- ESRI (Hrsg.) (2013f): Understanding the 3D Analyst Toolbar options. <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/00q8000000t3000000>. 25.2.2013.
- ESRI (Hrsg.) (2013g): Deriving steepest path. <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/00q80000011v000000>. 25.2.2013.

- ESRI (Hrsg.) (2013h): Skyline (3D Analyst). <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//00q900000056000000>. 25.2.2013.
- ESRI (Hrsg.) (2013i): Analyzing threats to 3D flight paths and corridors. <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//00q80000004r000000>. 25.2.2013.
- FISCHER, P. F. (1996): Extending the Applicability of Viewsheds in Landscape Planning. In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 62..
- FREIWALD, N. & R. JANY (2005): Dateiformate für vektorbasierte 3D-Geodaten. In: 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Coors/Zipf (Hrsg.). Wichmann. Heidelberg.
- FUCHS, G. (1998): Kritische Gedanken zur neueren geodynamischen Forschung in der östlichen Böhmischen Masse. In: Jahrbuch der geologischen Bundesanstalt. Wien.
- FUCHS-KITTOWSKI, F., S. SIMROTH, B. PFÜTZNER, F. TROSIEN (2012): Augmented Maps und Augmented Reality für den präventiven Hochwasserschutz. In: Umweltinformationssysteme. Frühwarn- und Informationssysteme für den Hochwasserschutz. Umweltbundesamt Deutschland. Dessau-Roßlau.
- GALSON SCIENCES LIMITED (Hrsg.) (2013): Geological characterisation and modelling. <http://www.galson-sciences.co.uk/page.php?currentpageref=79>. 23.02.2013.
- GEOGRAPHIC EARTH MAPPING & DESIGN (Hrsg.) (2013): What is GIS?. http://www.gembc.ca/GIS_Mapping_Services_Page.htm 24.2.2013.
- GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (Hrsg.) (2013): Geologische Übersichtskarte der Republik Österreich. <http://www.geologie.ac.at/pdf/Uebersichtskarten/GeolKarteAUT-deu-20.pdf>. 24.2.2013.
- GUO, Y., Q. DU, Y. LUO, W. ZHANG, L. XU (2008): Application of Augmented Reality GIS in Architecture. In: ISPRS Archive Vol. XXXVII. Part B5. Technical Commission V. Beijing.
- GÜLCH, E. (2005): Erfassung von 3D-Geodaten mit Digitaler Photogrammetrie. In: 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Coors/Zipf (Hrsg.). Wichmann. Heidelberg.
- GRAF, R. (2006): Ortsbasierte Sichtbarkeitsanalysen mit digitalen Geländemodellen auf mobilen Endgeräten. Salzburg.
- GRÖGER, G. & T. H. KOLBE (2005a): Normen und Standards für 3D-Geodaten. In: 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Coors/Zipf (Hrsg.). Wichmann. Heidelberg.

- GRÖGER, G. & T.H. KOLBE (2005b): 3D-Stadtmodellierung auf der Basis internationaler GI-Standards. In: 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Coors/Zipf (Hrsg.). Wichmann. Heidelberg.
- GOOGLE (Hrsg.) (2007): Benutzerhandbuch SketchUp. <http://download.trimble.com/>. 23.2.2013.
- GOOGLE DEVELOPERS (Hrsg.) (2013): Keyhole Markup Language. <https://developers.google.com/kml/documentation/kmlreference?hl=de>. 23.2.2013.
- GTA GEOINFORMATIK (Hrsg.) (2013): 3D Stadtmodelle. <http://www.gta-geo.de/lang-de/3d-stadtmodelle>. 20.2.2013.
- HAALA, N. (2005): Laserscanning zur dreidimensionalen Erfassung von Stadtgebieten. In: 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Coors/Zipf (Hrsg.). Wichmann. Heidelberg.
- HAKE, G., D. GRÜNREICH, L. MENG (2002): Kartographie. Berlin. de Gruyter.
- HANUSCHU, T., E. BALTASAVIAS, H. EISENBEISS (2010): Grundzüge der Photogrammetrie. In: Skript zur Vorlesung Photogrammetrie. ETH Zürich.
- HILLBRING, D. (2005): 3D-GIS Visualisierung in der Umweltinformatik. Dissertation. Universitätsverlag Karlsruhe.
- INGENSAND, H. & T. SCHULZ (2005): Terrestrisches Präzisions-Laserscanning. www.mplusm.at/ifg/download/Ingensand-05.pdf. 09.04.2013
- INTERGRAPH (Hrsg.) (2012): 3D-Sichtbarkeitsanalysen für Windkraftanlagen mit Intergraph-Software. Geo Media 3D und Geo Media Grid als Werkzeuge in der Landes- und Regionalplanung. Bonn – Bad Godesberg.
- KAINZ, W. (2004): Geographic Information Science (GIS). Universität Wien.
- KERN, F. (2007): Terrestrisches Laserscanning kurz & bündig. http://www.architektur-vermessung.de/05-Literatur/doc/laserscanning_fkern.pdf. 24.2.2013.
- KLAUS, M. (1997): Erstellung von 3D-Stadtmodellen für die virtuelle interaktive Begehung. Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme. München.
- KOHLSTOCK, P. (2010): Kartographie. Eine Einführung. Paderborn. Schöningh.
- LAND OBERÖSTERREICH (Hrsg.) (2012): Erläuterung der Kriterien, welche der Ausweisung von Vorrang- und Negativzonen des "Windkraftmasterplans OÖ" zu Grunde liegen.
- LEE, J. (2008): Spatial Data Analysis in 3D GIS. In: Advances in 3D Geoinformation Systems. Springer.

- LEEPMANN, J. A. H. COELHO, H. BÄHR, G. STAUB, J. WIESEL (2005): Augmented Reality im Katastrophenmanagement. In: 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Coors/Zipf (Hrsg.). Wichmann. Heidelberg.
- LFU BAYERN (2013): 3D-Modelle in der Geologie. http://www.lfu.bayern.de/geologie/3d_modelle/index.htm. 20.2.2013.
- LORBER, G. (1996): Aufbau des 3D-Stadtmodells Graz. In: Beiträge zum XII. Internationalen Kurs für Ingenieurvermessung. Band 2. Dümmler Verlag Bonn.
- LUNG CHEUK, M. & M. YUAN (2009): Assessing Spatial Uncertainty of LiDAR-derived Building Model: A Case Study in Downtown Oklahoma City. In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 74.
- LÜCKING, H. (Hrsg) (2006): Delaunay-Triangulation. <http://www.giswiki.org/wiki/Delaunay-Triangulation>. 20.2.2013.
- LÜCKING, H. (Hrsg) (2007): Digitales Geländemodell. <http://www.giswiki.org/wiki/Digitales-Gel%C3%A4ndemodell>. 20.2.2013.
- MAGISTRAT DER STADT WIEN (Hrsg.) (2013): Anwendungen – Oberflächenmodell – Airborne Laserscanning (ALS). Sichtbarkeitsanalysen und Fotomontagen für städtebauliche Projekte. <http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/images/als-sichtbarkeit-gr.gif>. 20.2.2013.
- MALOY, A. & D. J. DEAN (2001): An Accuracy Assessment of Various GIS-Based Viewshed Delineation Techniques. In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 67.
- MERCER, J. B. (2001): Comparing LiDAR and IfSAR: What can you expect?. In: Proceedings Photogrammetric Week. Stuttgart.
- MOORE, K. (2002): Visualizing data components of the urban scene. In: Virtual Reality in Geography. Taylor & Francis. New York.
- MUSLIMAN, I. A., A. RAHMAN, V. COORS (2008): Implementing 3D Network Analysis in 3D-GIS. In: ISPRS Archives Vol. XXXVII. Part B2. Beijing.
- NEBIKER, S. (2005): Wenn Geodaten fliegen lernen – 3D-Geoinformationssysteme in der Aviatik. In: 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Coors/Zipf (Hrsg.). Wichmann. Heidelberg.
- NOSS, L. (2012): Frustum, eyeballs, pyramids, and the sky. <https://raw.githubusercontent.com/landongn/three.js-tutorials/master/1/frustum.png>. 25.2.2013.
- OVER, M. (2011): Surfaces represented by a Digital Surface Model and Digital Terrain Model. http://en.wikipedia.org/wiki/File:DTM_DSM.png. 20.2.2013.

- OVERWATCH (Hrsg.) (2010): LIDAR Analyst® 5.0 for ArcGIS. Reference Manual. Missoula.
- PEUCKER, T. K., R. FOWLER, J. J. LITTLE (1976): The Triangulated Irregular Network. Burnaby.
- PISARIK, S. (2009): Gebäude-Komplex UNO City. In: Profil Extra. Beilage zum Wochenmagazin profil. 15.Juni 2009.
- REINFRIED, S., J. ROTH (1995): Kartenlehre / Kartographie. Ein Leitprogramm für den Geographieunterricht. ETH Zürich.
- REITZ, T., S. THUM, M. KRÄMER (2010): VL Geographische Informationssysteme. In: Skript zur Vorlesung Geographische Informationssysteme. Fraunhofer IGD. http://www.gris.tu-darmstadt.de/teaching/courses/ws1011/gis/pdfs/GIS_Vorlesung-01.pdf. 24.2.2013.
- RIEDL, A., D. RIEDL, I. GATTRINGER (2010): Tutorials zum PS Angewandte Geoinformation. SS2010. In: Skript zum Proseminar Angewandte Geoinformation. Universität Wien.
- RIEDL, A. (2011): Multimediatechnologie und Geokommunikation. Studienjahr 2010/2011. In: Skript zum Proseminar Multimediatechnologie und Geokommunikation. Universität Wien.
- RIEDL, A., D. RIEDL, R. MITTERMAIER (2012): Einführung in die Geoinformation. WS2012. In: Skript zur Vorlesung Einführung in die Geoinformation. Universität Wien. http://www.univie.ac.at/karto/lehre/geoinfo/egi12_SS/materialien/EGI11script.pdf. 24.2.2013.
- RINNER, K. (1972): Photogrammetrie. In: Handbuch der Vermessungskunde. Metlersche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.
- SCHULZE, J. (2008): Stand der Implementierung von 3D-GIS. Überblick. http://geoinformatik.htw-dresden.de/abschlussarbeiten/DA_SCHULZE_2008/index.html. 23.2.2013.
- SCIANNA, A. & A. AMMOSCATO (2010): 3D GIS data model using open source software. In: ISPRS Archives Vol. XXXVIII. Part 4-8-2-W9. Haifa.
- SOERGEL, U., K. SCHULZ, U. THOENNESSEN, U. STILLA (2004): Integration of 3D data in SAR mission planning and image interpretation in urban areas. In: Science Direct. Information Fusion 6. Elsevier.
- STADTGEMEINDE RAABS (Hrsg.) (2012): Raabs an der Thaya. Offizielles Informationsmedium. <http://www.raabs-thaya.gv.at/>. 26.2.2013.
- STÄDTETAG NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg.) (2004): 3D-Stadtmodelle. Eine Orientierungshilfe für die Städte in NRW. http://www.wuppertal.de/geodaten/publikationen/3d_kiepe.pdf. 28.2.2013.

- STEINIGER, S. & R. WEIBEL (2009): GIS Software – A description in 1000 words. In: Encyclopaedia of Geography. Warf. http://www.geo.uzh.ch/~sstein/manuscripts/gissoftware_steiniger2008.pdf. 24.2.2012.
- THE AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY & REMOTE SENSING (Hrsg.) (2011): ASPRS - LAS Specification Version 1.4 – R12. Bethesda.
- THOMSEN, A., M. BREUNIG, W. BÄR, A. B. CREMERS, A. SIEHL (2005): Datenbankunterstützung für geologische Anwendungen. In: 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Coors/Zipf (Hrsg.). Wichmann. Heidelberg.
- TSE, R., C. GOLD, D. KIDNER (2008): 3D City Modelling from LIDAR Data. In: Lecture notes in Geoinformation and Cartography. In: Advances in 3D Geoinformation Systems. Springer.
- TORLEGARD, K. (1995): Vorlesung "Fotogrammetri". KTH Stockholm.
- UNITED NATIONS INFORMATION SERVICE (2010): Die Vereinten Nationen in Wien. <http://www.unis.unvienna.org/unis/de/unvienna.html>. 20.2.2013.
- WEHR, A. & H. DUZELOVIC (2009): Bruchkantendetektion mit hochaufgelösten Laserscannerdaten. In: Vermessung & Geoinformation 4/2009.
- WEIBEL, R. (2012): Sichtbarkeitsanalysen (Viewsheds). In: Skript zur Vorlesung GEO. Universität Zürich.
- WISE, S. (2002): Gis Basics. Taylor and Francis. New York.
- WYTZISK, A. (2003): Interoperable Geoinformations- und Simulationsdienste auf Basis internationaler Standards. IfGIprints. Solingen.
- YU, B., H. LIU, J. WU, Y. HU, L. ZHANG (2010): Automated derivation of urban building density information using airborne LiDAR data and object-based method. In: Landscape and Urban Planning. Elsevier.
- ZHOU, G., C. SONG, J. SIMMERS, P. CHENG (2004): Urban 3D GIS from LiDAR and digital aerial images. In: Computers & Geosciences 30. Elsevier.
- ZLATANOVA, S., A. ABDUL-RAHMAN, M. PILOUK (2002): Trends in 3D GIS development. In: Journal of Geospatial Engineering. Vol. 4. No. 2.

Anhang

Tab. 42 Modelldurchläufe zur Extraktion der Bare Earth im UG UNO-City (eigene Bearbeitung (2013))

		bareEarth_1	bareEarth_2	bareEarth_3	bareEarth_4	bareEarth_8			bareEarth_5	bareEarth_6	bareEarth_7
Bare Earth Extraction Method (Basis LAS DSM und DTM)	Method 1: Raster or Point Clouds	x	x	x	x	x	Bare Earth Extraction Method (Basis DSM und DTM Raster)	Method 1: Raster or Point Clouds			
	Method 2: Point Clouds							Method 2: Point Clouds	x	x	x
Pre-Process	Auto-detect no-data regions	x	x	x	x	x	Pre-Process	Auto-detect no-data regions	x	x	x
	Remove spikes and pits before processing	x	x	x	x	x		Remove spikes and pits before processing	x	x	
Post-process	Remove negative nDSM regions		x	x	x	x	Post-process	Remove negative nDSM regions	x	x	
	Smooth bare earth using low-pass filter		x	x		x		Smooth bare earth using low-pass filter			
Tree and Forest Parameters	Minimum slope for tree regions	10	10	10	10	10	Extraction Parameters	Max building size (length) (m)	100	300	500
	Minimum texture for tree regions	80	80	80	80	80		Max height to jump for region growing (m)	35	10	10
	Minimum difference between returns for tree regions	3	3	3	3	3		Max slope of ground regions (°)	45	45	45
	Minimum forest size (m²)	10000	10000	10000	10000	10000		Number of iterations for bare-earth extraction	2	5	5
	Sample one point in forest regions for every (m²)	33	33	33	33	33		Minimum area of extracted ground regions (m²)	30	15	15
	Use average slope for tree mask			x	x		Ground Parameters	Sample one point in ground regions for every (m²)	7	7	7
Ground Parameters	Slope threshold for flat ground	78	78	70	60	78		Output last return if elevation difference between last return and ground surface estimate is (m)	5	5	5
	Maximum slope in flat ground	55	30	60	40	55		Return	Last	Last	First
	Maximum slope in steep ground	10	10	20	10	10					
	Minimum area for ground regions	35000	35000	40000	10000	35000					
	Sample one point in ground regions for every	9	9	5	9	9					
Return Parameters	Threshold difference for ground acceptance	1	1	1	1	1					
	Threshold difference for ground replacement	5	5	5	5	5					
CleanUp Bare Earth (post-process)	Smoothness	~50%	~70%	~50%	~50%	~80%					
Interpolator	ArcGIS Spline Interpolator	Nr. P = 15; W = 3	Nr. P = 20; W = 3	Nr. P = 20; W = 3	Nr. P = 20; W = 3						
	Hierarchical Spline Interpolator					Nr. P=300, S.t. = 0, % Overlap = 0,1					

Tab. 43 Modelldurchläufe zur Extraktion der Gebäude im UG UNO-City (eigene Bearbeitung (2013))

		buildings_1	buildings_2	buildings_3
	Beschreibung	Grundlage	zu kleine Gebäude entfernen	zu niedrige Gebäude hinzufügen
Input Daten (bareEarth_8)	Remove buildings with area less than (m²)	20	60	60
	Remove buildings with area more than (m²)	50000	50000	50000
	Remove buildings with height less than (m)	5	5	2
	Minimum slope for building roofs	15	15	15
	Maximum slope for building roofs	41	41	41
	Texture variance for trees	80	80	80
	Min. difference between returns for trees	0	0	0
	Smoothing tolerance	-	-	-
	Square up polygons	x	x	x
Extract tall buildings	Minimum height for tall buildings	40	40	40
	Minimum area for tall buildings	50	50	50

Tab. 44 Modelldurchläufe zur Extraktion der Vegetation im UG Raabs an der Thaya (eigene Bearbeitung (2013))

		tree&forest1	tree&forest2	tree&forest3
Beschreibung		Grundlage	kleine Bäume	kleiner Waldflächen
Extraction Method	Method 1: Fixed window search (better for dense forests)	x	x	x
	Method 2: Variable window search (better at getting accurate crown widths)			
	Predominant tree/forest type	Mixed	Mixed	Mixed
	Minimum tree height	3	1,5	1,5
	Maximum tree height	40	40	40
	Minimum size of a forest	3500	3500	4000

Lebenslauf

Angaben zu meiner Person

Name: Bernd Loigge
Geburtsdatum: 21.04.1988
Geburtsort: Wien
Staatsangehörigkeit: Österreich
Familienstand: ledig
Anschrift: Am Naturpark 17/3/3
2093 Geras (Hauptwohnsitz)
Eichfeldergasse 17-19/1/9
1210 Wien (Nebenwohnsitz)
Telefon: +43 664 5981469
Email: bernd.loigge@univie.ac.at

Ausbildung

seit 2011	persönliche Assistenz bei Prof. Embleton-Hamann in Bereichen der Physischen Geographie & Geomorphologie
seit 2011	Tutor für mehrere Lehrveranstaltungen im Geoinformationsbereich (Einführung in die Geoinformation, Angewandte Geoinformation)
seit 2010	Masterstudium Geographie, Universität Wien
2008 & 2010	Berufspraktikum beim Verlag Esterbauer, Rodingersdorf, Niederösterreich
2007 - 2010	Bachelorstudium Geographie (Schwerpunkte in der Physischen Geographie), Universität Wien
2006 - 2007	Zivildienst und anschließende dreimonatige Verlängerung als hauptamtlich Angestellter beim Roten Kreuz Horn, Niederösterreich
2006	Ferialjob beim Verein „Szene Bunte Wähne“ Horn – unterschiedliche Tätigkeiten
1998 - 2006	Realgymnasium Horn, Niederösterreich
2002 - 2009	Mitarbeit im elterlichen Gastronomie und Hotelbetrieb
1994 - 1998	Volksschule Geras, Niederösterreich

EDV - Kenntnisse

Geoinformation

ArcGIS (ab Version 9.2)
Ilwis GIS Open (Version 3.6)
Axpand
Saga GIS
QGIS (mit GRASS Applikationen)

weitere EDV - Kenntnisse

MS Office Anwendungen (Excel, Word, Power Point, Access)
Datenbankverwaltung: Oracle Datenbankmanagementsystem
Fernerkundung: Erdas Imagine
Statistik: Spss und R
Bildbearbeitung: Adobe Photoshop, Corel Draw und Corel PhotoPaint
Animationserstellung: Macromedia Flash, Cinema 4D und Adobe Director
Grundlagen im Programmieren: Python, HTML5, CSS, Java Script

Sprachkenntnisse

Deutsch: Muttersprache
Englisch: fließend (in Thematiken der Geographie: verhandlungssicher)

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich,

- dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe,
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Datum

Unterschrift