



HOCHSCHULE OSNABRÜCK
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur

Studiengang Master Landschaftsarchitektur

Masterarbeit

Thema: Entwicklung eines BIM-Workflows zur Erfassung, Aufbereitung und Weiterbearbeitung von Gelände-Bestandsdaten in der Landschaftsarchitektur

Erstprüfer/in (Themensteller/in): Frau Dr. Ilona Brückner

Zweitprüfer/in: Herr Prof. Dr. Stefan Taeger

Bearbeiter/in: Marieke Schönfeld

Matrikelnummer: 702705

Ausgabedatum: 11.07.2022

Abgabedatum: 12.12.2022

Überarbeitete Version vom 22.05.2023, in Abstimmung mit den Prüfenden

ZUSAMMENFASSUNG

Inhalt dieser Arbeit ist die Entwicklung und Durchführung eines BIM-Workflows für die Erfassung, Aufbereitung und Weiterbearbeitung von Gelände-Bestandsdaten in der Landschaftsarchitektur. Der entwickelte Workflow basiert auf der Analyse vorliegender BIM-Richtlinien und Leitfäden aus dem Bereich der Infrastrukturplanung. Es wird herausgestellt, welche Anforderungen an Bestandsdaten in BIM gestellt werden. Diese können auf Grund überschneidender Inhalte auf die Fachdisziplin der Freiraumplanung übertragen werden. Der Workflow integriert auf der einen Seite 3D-Bestandsdaten der Vermessungsämter, auf der anderen Seite Vermesserdaten aus der Ingenieurvermessung. Die Daten werden für die Weiterverwendung in BIM-Softwares aufbereitet und an diese übergeben. Auf Grundlage eines Projektbeispiels wird in fünf verschiedenen BIM-Programmen die Erstellung eines Digitalen Geländemodells anhand derselben Punktedatei durchgeführt und dokumentiert. Die erstellten Geländemodelle werden in dasselbe Datenformat exportiert und hinsichtlich ihrer Übereinstimmung und Genauigkeit mittels ausgewählter Vergleichsmethoden geprüft. Abschließend werden einige Werkzeuge des Plug-ins ‚Environment‘ für die Modellierung und Weiterbearbeitung von Geländemodellen in Autodesk Revit getestet und bewertet. Die praktische Umsetzung des entwickelten Workflows wird detailliert im Anhang aufgezeigt.

ABSTRACT

Subject of this master thesis is the development and implementation of a BIM workflow for capturing, preparing and further processing terrain inventory data in landscape architecture. The workflow developed here is based on the analysis of available BIM directives and guidelines from the area of infrastructure planning. It is highlighted which requirements are applied with regard to inventory data in BIM. Due to overlapping contents, these can be transferred to the specialist discipline of open space planning. The workflow integrates 3D inventory data from land surveyor's offices on the one hand, and surveyor data from engineering surveying on the other hand. Data are prepared for further use in BIM softwares and transferred to these. By means of a project example, the creation of a digital terrain model is executed and documented in five different BIM programmes using the same point file as basis. The terrain models thus created are exported to the same data format and verified as to their conformity and accuracy by means of selected comparison methods. Finally, some tools from the plug-in 'Environment' are tested and evaluated for modeling and further processing of terrain models in Autodesk Revit. The practical implementation of the workflow developed is shown in detail in the annex.

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	I
Abstract	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	XIV
Abkürzungsverzeichnis	XV
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	2
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Struktureller Aufbau der Arbeit	3
2 Grundlagen und Stand der Forschung	6
2.1 Building Information Modeling	6
2.1.1 Aufbau des Bauwerksmodells	8
2.1.2 Die Umsetzung von BIM	8
2.1.3 Industry Foundation Classes	10
2.1.4 BIM-Anwendungsfälle	13
2.1.5 Die Modellierung für BIM	14
2.2 Amtliche Geodaten	16
2.2.1 3D-Geobasisdaten	17
2.3 Von der Vermessung zum Digitalen Geländemodell	18
2.3.1 UAV-Photogrammetrie	19
2.3.2 Geordnete und ungeordnete Punktwolken	21
2.3.3 Klassifikation von Punktwolken	23
2.3.4 Erstellung eines Geländemodells	24
2.4 Georeferenzierung in BIM	26
2.4.1 Koordinatenreferenzsysteme	26
2.4.2 Aktuelle Bezugssysteme in Deutschland	27
2.4.3 UTM-Verzerrungen	28
2.5 Stand der Forschung	30
3 Material und Methode	34
3.1 Eingesetzte BIM-Softwares	34
3.1.1 Autodesk AutoCAD Civil 3D	34
3.1.1.1 Trianguliertes Mengenmodell	34
3.1.1.2 Höhenpläne	34

3.1.2	Autodesk Revit	35
3.1.2.1	Autodesk Construction Cloud	36
3.1.2.2	Autodesk Desktop Connector	36
3.1.2.3	Plug-in ‚Environment‘	36
3.1.3	Graphisoft ArchiCAD	37
3.1.4	Vectorworks.....	37
3.1.5	DATAflor BIMXPRT	37
3.2	Zusätzlich verwendete Software	38
3.2.1	CloudCompare	38
3.2.2	FZKViewer.....	38
3.3	Datengrundlage	39
3.4	Hardwareausstattung.....	39
3.5	Methodisches Vorgehen	39
3.5.1	Einordnung des Digitalen Geländemodells in den BIM-Kontext	39
3.5.2	Theoretische Entwicklung des Workflows	39
3.5.3	Anwendung des Workflows.....	40
3.5.4	Erstellung von Triangulierten Mengenmodellen und Höhenplänen	40
4	Einordnung des Digitalen Geländemodells in den BIM-Kontext	42
4.1	Richtlinienreihe VDI 2552 „Building Information Modeling (BIM)“	42
4.1.1	Fachmodelle	42
4.1.2	Georeferenzierung.....	43
4.2	BIM4INFRA2020	44
4.2.1	Anwendungsfälle und Fachmodelle	44
4.2.2	Georeferenzierung.....	45
4.3	DEGES.....	46
4.3.1	Anwendungsfälle und Fachmodelle	46
4.3.2	Georeferenzierung.....	47
4.4	Masterplan BIM-Bundesfernstraßen	47
4.4.1	Anwendungsfälle und Fachmodelle	47
4.4.2	Georeferenzierung.....	49
4.5	Übersicht	49
5	Theoretische Entwicklung des Workflows.....	51
6	Anwendung des Workflows	56
6.1	Exkurs: Übernahme von Bruchkanten	56
6.2	Daten für das Fachmodell Umwelt aus dem OpenGeoData.NI	61
6.2.1	Download von Geodaten aus dem OpenGeoData.NI.....	61

6.2.2	Aufbereitung der Daten in Autodesk Civil 3D	62
6.3	Vorbereitung der Punktwolken in CloudCompare	64
6.4	Autodesk Civil 3D – Geländemodell 1	71
6.5	Autodesk Revit – Geländemodelle 2-4.....	74
6.5.1	Geländemodell 2 – ‚Topographie verknüpfen‘	75
6.5.2	Geländemodell 3 – ‚Importexemplar‘ – Import von Höhenlinien	77
6.5.3	Geländemodell 4 – ‚Punktdatei angeben‘	79
6.6	Graphisoft ArchiCAD – Geländemodell 5.....	82
6.7	Vectorworks – Geländemodelle 6 und 7	84
6.7.1	Geländemodell 6 – ‚Import Aufmaß / Koordinaten‘	84
6.7.2	Geländemodell 7 – ‚Import Punktwolke‘	85
6.8	DATAflor BIMXPRT – Geländemodelle 8 und 9	88
6.8.1	Geländemodell 8 – Quick-DGM	88
6.8.2	Geländemodell 9 – BricsCAD	90
6.9	Revit ‚Environment‘	91
7	Vergleich der Geländemodelle anhand ausgewählter Methoden	99
7.1	Trianguliertes Mengenmodell.....	99
7.2	Höhenpläne mit Längsschnitten.....	101
8	Ergebnisse	104
8.1	Vergleich Autodesk Civil 3D und Autodesk Revit	105
8.1.1	Geländemodell 2 – ‚Topographie verknüpfen‘	105
8.1.1.1	DGM-Eigenschaften – Geländemodell 2.....	105
8.1.1.2	Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+2	106
8.1.1.3	Höhenpläne DGM 1+2.....	108
8.1.1.4	Ergebnis	110
8.1.2	Geländemodell 3 – ‚Importexemplar‘ – Import von Höhenlinien	110
8.1.2.1	DGM-Eigenschaften – Geländemodell 3.....	110
8.1.2.2	Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+3	111
8.1.2.3	Höhenpläne DGM 1+3.....	112
8.1.2.4	Ergebnis	117
8.1.3	Geländemodell 4 – ‚Punktdatei angeben‘	117
8.1.3.1	DGM-Eigenschaften – Geländemodell 4.....	117
8.1.3.2	Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+4	118
8.1.3.3	Höhenpläne	119
8.1.3.4	Ergebnis	122
8.2	Vergleich Autodesk Civil 3D und Graphisoft ArchiCAD	123

8.2.1	DGM-Eigenschaften – Geländemodell 5.....	123
8.2.2	Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+5	124
8.2.3	Höhenpläne DGM 1+5.....	125
8.2.4	Ergebnis	127
8.3	Vergleich Autodesk Civil 3D und Vectorworks	128
8.3.1	Geländemodell 6 – ‚Import Aufmaß / Koordinaten‘	128
8.3.1.1	DGM-Eigenschaften – Geländemodell 6.....	128
8.3.1.2	Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+6	129
8.3.1.3	Höhenpläne DGM 1+6.....	130
8.3.1.4	Ergebnis	132
8.3.2	Geländemodell 7 – ‚Import Punktwolke‘.....	133
8.3.2.1	DGM-Eigenschaften – Geländemodell 7.....	133
8.3.2.2	Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+7	134
8.3.2.3	Höhenpläne DGM 1+7	135
8.3.2.4	Ergebnis	138
8.4	Vergleich Autodesk Civil 3D und DATAflor BIMXPRT	139
8.4.1	Geländemodell 8 – Quick-DGM	139
8.4.1.1	DGM-Eigenschaften – Geländemodell 8.....	139
8.4.1.2	Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+8	140
8.4.1.3	Höhenpläne DGM 1+8.....	141
8.4.1.4	Ergebnis	143
8.4.2	Geländemodell 9 – BricsCAD	144
8.4.2.1	DGM-Eigenschaften – Geländemodell 9.....	144
8.4.2.2	Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+9	145
8.4.2.3	Höhenpläne DGM 1+9.....	146
8.4.2.4	Ergebnis	149
8.5	Übersicht	150
9	Bewertung und Diskussion.....	151
9.1	Beantwortung der Forschungsfragen.....	151
9.1.1	Anforderungen an Grundlagendaten im BIM-Prozess.....	151
9.1.2	Potenzial aktueller BIM-Software für Digitale Geländemodelle	152
9.1.3	Werkzeuge für die Umsetzung der gebauten Landschaft.....	157
9.2	Ausblick	157
	Literaturverzeichnis.....	159
	Anhang 1: Detaillierte Workflows	167
	Anhang 2: DVD-Inhalte	281

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abbildung 1: BIM-Kreislauf über den gesamten Lebenszyklus. BORRMANN et al. (2015).
- Abbildung 2: BIM – Vorverlagerung von Planungs- und Entscheidungsprozessen. BORRMANN et al. (2015).
- Abbildung 3: Technologische Stufen von BIM nach Art der Kollaboration. BORRMANN et al. (2015).
- Abbildung 4: Das BIM-Reifegradmodell. BORRMANN et al. (2015).
- Abbildung 5: Triangulation anhand von Vermessungspunkten. BUILDINGSMART (2022a).
- Abbildung 6: Triangulation anhand von Vermessungspunkten und Bruchkante. BUILDINGSMART (2022a).
- Abbildung 7: Grad der Fertigstellung (Level of Development). BLANKENBACH et al. (2022).
- Abbildung 8: Geobasisdaten Open Data Verteilung in Deutschland. In Anlehnung an LUNDENBERG (2022).
- Abbildung 9: Multikopter – DJI Mavic Pro. KRAGE (2017).
- Abbildung 10: Aufgenommene Punktwolke mittels Photogrammetrie. SKY ELEMENTS (2022).
- Abbildung 11: ASCII-Punktehaufen in einem Texteditor und Autodesk Civil 3D. PETSCHKE (2014).
- Abbildung 12: ASCII Grid-Matrix mit Höhenangaben pro Pixel. PETSCHKE (2014).
- Abbildung 13: Digitales Oberflächenmodell vs. Digitales Geländemodell. 3DS-SCAN (2022).
- Abbildung 14: Delaunay-Triangulation: Es befindet sich kein weiterer Punkt innerhalb des Kreises. PETSCHKE (2014).
- Abbildung 15: Stützmauer inklusive Bruchkante. PETSCHKE (2014).
- Abbildung 16: Aufbau eines Koordinatenreferenzsystems. LANDESVERMESSUNG SACHSEN (2022).
- Abbildung 17: Streckenverzerrungen bei der UTM-Projektion. GEOMAPPING (2021).
- Abbildung 18: Workflow – Übersicht. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 19: Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 20: Geländemodell ‚Ist-Zustand‘ in Vectorworks. EIGENE DARSTELLUNG

Abbildung 21: Geländemodell ‚Soll-Zustand‘ mit Bruchkante in Vectorworks. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 22: IFC-Datei im FZK-Viewer. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 23: IFC-Datei in Autodesk Revit. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 24: IFC-Datei in ArchiCAD. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 25: IFC-Datei in Vectorworks. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 26: IFC-Datei in BIMXPRT. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 27: Downloadbereich 3D-Gebäudemodell (LOD2) im OpenGeoData.NL. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 28: Mögliche Datenformate für einen Mapimport. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 29: Ergebnis der aufbereiteten Geodaten. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 30: Gesamtpunktwolke des Botanischen Gartens. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 31: Punktwolkenausschnitt entsprechend des Projektgebiets. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 32: Punktwolke mit markiertem Bewuchs. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 33: Cloth Simulation Filter. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 34: CSF-Filter – Erweiterte Einstellungsmöglichkeiten. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 35: Ergebnis der Filteranwendung. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 36: Punktdatei im Texteditor. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 37: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 38: Mögliche Dateiformate für Punktdateien. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 39: Ausschnitt aus der Übersicht des Projektbrowsers. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 40: Kontrolle der Punktdatei. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 41: Ergebnis Geländemodell 1 in Autodesk Civil 3D. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 42: ‚Shared Reference Point‘ im Texteditor. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 43: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 44: ‚Shared Reference Point‘ ist als Grundstück eingestellt. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 45: Geländemodell 2 in Autodesk Revit. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 46: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 47: Die CAD-Datei liegt nach Import auf dem Projekt-Basispunkt. EIGENEN DARSTELLUNG.

Abbildung 48: Geländemodell 3 in Autodesk Revit. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 49: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 50: Warnung beim Import einer georeferenzierten Punktedatei. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 51: Eintragen der negativen Koordinatenwerte in die Matrix. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 52: Geländemodell 4 in Autodesk Revit. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 53: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 54: Geländemodell 5 in Graphisoft ArchiCAD. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 55: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 56: Geländemodell 6 in Vectorworks. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 57: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 58: Wählbare Dateiformate – Import Punktwolke. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 59: Dialogfenster – Einstellungen Import Punktwolke. EIGENE DARSTELLUNG.

- Abbildung 60: Geländemodell 7 in Vectorworks. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 61: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 62: Dateiformate – Import Punktsatz. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 63: Geländemodell 8 – Quick-DGM. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 64: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 65: Mögliche Dateiformate – Punktwolke anhängen. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 66: Geländemodell 9 – BricsCAD. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 67: Ergebnis des Befehls ‚Shape by Topography‘. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 68: Ergebnis des Befehls ‚Arrange Walls‘. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 69: Ergebnis des Befehls ‚Stretch Walls‘. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 70: Ergebnis des Befehls ‚Approximate Wall Path‘. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 71: Ergebnis des Befehls ‚Wall railing‘. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 72: Ergebnis des Befehls ‚Paste curb‘. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 73: Ergebnis des erstellten Hügels über den Befehl ‚Place Point‘. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 74: Ergebnis Befehl ‚Smooth Geometry‘. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 75: Ergebnis Befehl ‚Inflate surface‘. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 76: Ergebnis Befehl ‚Shape by Point‘. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 77: Ergebnis Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 78: Ergebnis 1-3 ‚Set Coordinate‘. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 79: Mögliche Objekttypen für die Definition eines DGMs über Zeichnungsobjekte. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 80: Statistik zum Triangulierten Mengenmodell. EIGENE DARSTELLUNG.
- Abbildung 81: Einstellungen Höhenplan. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 82: Erstellter Höhenplan. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 83: Übersicht – Schnittlinien. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 84: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 1. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 85: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 2. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 86: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+2. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 87: Vermaschung DGM 1 aus Civil 3D. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 88: Vermaschung DGM 2 aus Revit. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 89: Längsschnitt 1 – DGM 1+2. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 90: Längsschnitt 2 – DGM 1+2. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 91: Längsschnitt 3 – DGM 1+2. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 92: Längsschnitt 4 – DGM 1+2. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 93: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 3. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 94: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 95: Längsschnitt 1 – 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 96: Detail Längsschnitt 1 – 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 97: Längsschnitt 2 – DGM 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 98: Detail Längsschnitt 2 – DGM 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 99: Längsschnitt 3 – DGM 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 100: Detail Längsschnitt 3 – DGM 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 101: Längsschnitt 4 – DGM 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 102: Detail Längsschnitt 4 – DGM 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 103: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 4. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 104: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+4. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 105: Längsschnitt 1 – DGM 1+4. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 106: Längsschnitt 2 – DGM 1+4. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 107: Längsschnitt 3 – DGM 1+4. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 108: Längsschnitt 4 – DGM 1+4. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 109: Detail Längsschnitt 4 – DGM 1+4. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 110: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 5. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 111: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+5. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 112: Längsschnitt 1 – DGM 1+5. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 113: Längsschnitt 2 – DGM 1+5. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 114: Längsschnitt 3 – DGM 1+5. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 115: Längsschnitt 4 – DGM 1+5. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 116: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 6. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 117: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+6. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 118: Längsschnitt 1 – DGM 1+6. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 119: Längsschnitt 2 – DGM 1+6. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 120: Längsschnitt 3 – DGM 1+6. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 121: Längsschnitt 4 – DGM 1+6. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 122: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 7. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 123: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 124: Längsschnitt 1 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 125: Detail Längsschnitt 1 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 126: Längsschnitt 2 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 127: Detail Längsschnitt 2 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 128: Längsschnitt 3 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 129: Detail Längsschnitt 3 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 130: Längsschnitt 4 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 131: Detail Längsschnitt 4 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 132: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 8. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 133: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+8. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 134: Längsschnitt 1 – DGM 1+8. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 135: Längsschnitt 2 – DGM 1+8. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 136: Längsschnitt 3 – DGM 1+8. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 137: Längsschnitt 4 – DGM 1+8. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 138: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 9. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 139: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG

Abbildung 140: Längsschnitt 1 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 141: Detail Längsschnitt 1 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 142: Längsschnitt 2 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 143: Detail Längsschnitt 2 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 144: Längsschnitt 3 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 145: Detail Längsschnitt 3 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 146: Längsschnitt 4 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 147: Detail Längsschnitt 4 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

TABELLENVERZEICHNIS

- Tabelle 1: Merkmale von ETRS89/UTM. BEZIRKSREGIERUNG KÖLN (2020).
- Tabelle 2: Fachmodelle der Richtlinienreihe VDI 2552. VDI (2020).
- Tabelle 3: Übergeordnete Fachmodelle der ARGE BIM4INFRA2020.
ARGE BIM4INFRA2020 (2019d)
- Tabelle 4: Empfohlene Festsetzungen zur Georeferenzierung. ARGE BIM4INFRA2020
(2019a).
- Tabelle 5: Zusammenfassende Darstellung der Dokumentenanalyse. EIGENE DARSTEL-
LUNG.
- Tabelle 6: Daten zu Original-Punktwolken. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 7: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse. EIGENE DARSTELLUNG.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
4D	vierdimensional
5D	fünfdimensional
6D	sechsdimensional
AAA-Modell	AFIS-ALKIS-ATKIS-Modell
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AFIS	Amtliches Festpunktinformationssystem
AIA	Auftragsgeber-Informationen-Anforderungen
AIA	American Institute of Architects
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
ARGE	Arbeitsgemeinschaft
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BAP	BIM-Abwicklungsplan
BCF	BIM Collaboration Format
BIM	Building Information Modeling
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
B-Rep	Boundary Representation
CAD	computer-aided design
CRS	Coordinate Reference System
CSF	Cloth Simulation Filter

CSG	Constructive Solid Geometry
DEGES	Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
DHHN2016	Deutsches Haupthöhennetz 2016
DGM	Digitales Geländemodell
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DOM	Digitales Oberflächenmodell
DOP	Digitales Orthophoto
DREF91	Koordinaten der Punkte des Deutschen Referenznetzes 1991
DTK	Digitale Topographische Karte
DVW	Deutscher Verein für Vermessungswesen - Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement
EPSG	European Petroleum Survey Group
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
e. V.	Eingetragener Verein
GDI-NI	Geodatenportal Niedersachsen
GIS	Geoinformationssystem
GRS80	Geodätisches Referenzsystem 1980
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IAI	Internationale Allianz für Interoperabilität
IFC	Industry Foundation Classes
ISO	International Organization for Standardization
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
LGLN	Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung
LOD	Level of Detail
LOD	Level of Development

LOG	Level of Geometry
LOI	Level of Information
NHN	Normalhöhen-Null
NRW	Nordrhein-Westfalen
R2016	Realisierung 2016
RGB	Rot-Grün-Blau
SAPOS	Satellitenpositionierungsdienst
SfM	Structure-from-Motion
TIN	Triangular Irregular Network
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
US	United States
UTM	Universal Transverse Mercator
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WGS84	World Geodetic System 198

1 EINLEITUNG

Die Planungsmethode des Building Information Modelings (BIM) wird mittlerweile nicht nur in der Architekturbranche als Standard in Bauprojekten vorausgesetzt. Der Bereich der Infrastrukturplanung holt durch die Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastrukturplanung seit 2015 durch umgesetzte Pilotprojekte an Erfahrung auf und entwickelt stetig neue Workflows und Standards für den eigenen Sektor. (s. BMVI 2015)

Für die Landschaftsarchitektur, speziell den Bereich der Freiraumplanung, stehen hingegen bisher nur wenige Workflows, Standards und Richtlinien zur Verfügung. Die Anwendung der BIM-Methode befindet sich noch immer in der Erprobung. In beiden Bereichen gibt es jedoch inhaltliche Überschneidungen, sodass die Landschaftsarchitektur von einigen Überlegungen der Infrastrukturplanung im Bereich BIM profitieren und daran anknüpfen kann. (s. FUNK 2018, S. 1)

Am Anfang einer Planung mit konventionellen Methoden, aber auch mit BIM, steht sowohl im Infrastrukturbereich als auch in der Freiraumplanung das Thema der Grundlagenermittlung. Für eine ortsgebundene Planung ist es notwendig, generelle Informationen zur Umgebungssituation und vorhandene vermessungstechnische Unterlagen einzuholen. Der 2021 erschienene ‚Masterplan BIM-Bundesfernstraßen‘ schlägt für die Infrastrukturplanung eine Definition von Fachmodellen auf Grundlage der verschiedenen am Bau beteiligten Gewerke vor. Dabei werden dem Bereich der Grundlagenermittlung die Fachmodelle ‚Umgebung‘ und ‚Vermessung‘ zugeordnet. Dazu gehören vordergründig Informationen in Form von Geobasisdaten wie Digitale Geländemodelle, Stadtmodelle oder Katasterdaten. Zum anderen geht es um die Abbildung des Ist-Zustands durch die Aufbereitung und Abbildung von Daten bezüglich der Bauwerks- und Geländevermessung. Diese zwei Fachmodelle könnten als Grundlage für die Freiraumplanung mit BIM übernommen werden.

Die Daten zum Fachmodell ‚Umgebung‘ werden in erster Linie von den zuständigen Landesämtern für Geodäsie zur Verfügung gestellt. Für das Fachmodell ‚Vermessung‘ sind beauftragte Vermessungsingenieur*innen verantwortlich. Die Freiraumplanung baut ihre folgende Planung auf diesen Datengrundlagen auf.

1.1 Problemstellung

Von besonderer Relevanz hinsichtlich der Grundlagen für die Außenanlagenplanung mit BIM ist das Digitale Geländemodell. Dies kann entweder über vorhandene Geobasisdaten oder vom zuständigen Vermessungsbüro bezogen werden. Es ist aber ebenso möglich, dies selbst auf Grundlage der Rohdaten mit geeigneter BIM-Software zu erstellen. Während auf 2D-Plänen über die gesamte Planungsphase in der Regel mit wenigen Höhenpunkten gearbeitet wird, erfordert der digitale Zwilling eine Eins-zu-eins-Darstellung des Geländes. Das Geländemodell dient im folgenden Prozess als Grundlage für die Geländemodellierung und die Positionierung von Bauwerken. Ein Workflow für die praktische Umsetzung dieser Thematik in BIM ist jedoch noch nicht vorhanden. Dabei ist gerade bezüglich der Grundlagenermittlung und -aufbereitung eine gut durchdachte und einheitlich anwendbare Vorgehensweise von großer Bedeutung. Denn sie birgt mögliche Fehlerquellen, die sich anschließend durch den gesamten Planungsprozess ziehen können und schlimmstenfalls zu Baufehlern und erhöhten Kosten führen. Zu nennen sei hier beispielsweise die Nichtbeachtung eines Wechsels zwischen Programmen mit verschiedenen Koordinatensystemen, welche bei der späteren Zusammenführung verschiedener Fachmodelle zu Fehlern führen kann. Unterschiedliche Einflussfaktoren im Prozess der Generierung von Digitalen Geländemodellen beeinflussen deren Genauigkeit. Bereits bei der Punktwolkenbearbeitung können verschiedene Parameter gesteuert werden und die nachfolgende Bearbeitung beeinflussen. Branchenübliche BIM-Softwares für die Freiraumplanung versprechen eine benutzerfreundliche und unkomplizierte Anwendung ihrer Tools hinsichtlich der Erstellung Digitaler Geländemodelle. Es ist jedoch kaum nachvollziehbar, wie diese Programme mit den eingegebenen Daten umgehen bzw. inwiefern bei der Generierung eine Vereinfachung stattfindet. Zusätzlich muss hinterfragt werden, wie tragbar die möglicherweise entstehenden Ungenauigkeiten für verschiedene Anwendungsfälle sind. Auch ein Workflow für die anschließende Umsetzung der Planung, also die Geländemodellierung und Integration von Bauteilen auf Grundlage der erstellten Geländemodelle, besteht derzeit noch nicht.

1.2 Zielsetzung

Ziel ist es, einen anwendungsspezifischen Workflow für die BIM-gerechte Erfassung und Weiterbearbeitung von Grundlagen- und Vermessungsdaten zu entwickeln. Dafür ist es zunächst erforderlich zu ermitteln, welche Anforderungen an Grundlagendaten im BIM-Prozess der Freiraumplanung hinsichtlich unterschiedlicher Anwendungsfälle gestellt werden.

Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Anforderungsanalyse werden aktuelle BIM-Softwares für die Freiraumplanung bezüglich ihrer Eignung zur Integration bzw. Erstellung Digitaler Geländemodelle untersucht. Es werden entsprechende Workflows für die untersuchten Softwares entwickelt. Für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird in allen Programmen dieselbe Datengrundlage aus einer bereits vorhandenen Drohnenbefliegung genutzt.

Folgende Forschungsfragen sollen im Rahmen dieser Arbeit beantwortet werden:

- 1) Welche **Anforderungen** werden derzeit an Grundlagendaten für die Freiraumplanung im BIM-Prozess gestellt?
- 2) Welches **Potenzial** bietet aktuelle BIM-Software für die Generierung von Digitalen Geländemodellen bezüglich ihrer Anwendung und Genauigkeit?
- 3) Welche **Werkzeuge** stehen für die Umsetzung der gebauten Landschaft in der BIM-Software Autodesk Revit innerhalb des Plug-ins ‚Environment‘ zur Verfügung?

1.3 Struktureller Aufbau der Arbeit

Das zweite Kapitel gibt einen Überblick über Grundlagenthemen, die zum Verständnis der vorliegenden Arbeit beitragen. Dabei wird im ersten Abschnitt das Rahmenthema des Building Information Modelings aufgegriffen. Nach ersten Ausführungen zu BIM im Allgemeinen werden der Aufbau des im Mittelpunkt stehenden Bauwerksmodells und die Möglichkeiten der Umsetzung von BIM im Unternehmen vorgestellt. Es folgt ein Kapitel zu dem herstellerneutralen Austauschformat IFC (Industry Foundation Classess), im speziellen zur Klasse *IFCSite*, welche überwiegend für die Übergabe von Geländemodellen genutzt wird. Das Kapitel ‚Building Information Modeling‘ schließt mit einer kurzen Darstellung zur Bauwerksmodellierung und den damit verbundenen Detaillierungsgraden. Anschließend wird auf die amtlichen Geodaten der Vermessungsämter eingegangen. Es wird der Unterschied von Geobasis- und Geofachdaten erläutert und näher auf die 3D-Geobasisdaten eingegangen. Das Kapitel ‚Von der Vermessung zum Digitalen Geländemodell‘ vermittelt Hintergrundwissen zu den notwendigen Schritten der Datenerfassung von Vermessungspunkten und dem weiteren Vorgehen zum Erstellen eines Digitalen Geländemodells. Im Teil ‚Georeferenzierung mit BIM‘ wird kurz auf die Thematik der Koordinatenreferenzsysteme eingegangen. Es wird aufgezeigt, welches aktuelle Bezugssystem in Deutschland genutzt wird und welche Verzerrungen mit der Nutzung von UTM (Universal Transverse Mercator) einhergehen. Das Kapitel schließt mit einer Übersicht zum derzeitigen Forschungsstand bezüglich der Einführung und Nutzung von BIM in der Vermessung und Landschaftsarchitektur.

Das dritte Kapitel ‚Material und Methode‘ enthält zu Beginn kurze Einordnungen zu eingesetzten BIM-Softwares und zusätzlich in dieser Arbeit verwendeter Programme. Nach Vorstellung der Datengrundlage für den praxisbezogenen Teil folgt die Beschreibung zum methodischen Vorgehen. Dabei werden die vier folgenden praxisbezogenen Kapitel der Arbeit kurz dargestellt.

Im vierten Kapitel wird das Digitale Geländemodell als Bestandteil der Grundlagenermittlung in den Kontext von BIM eingeordnet. Dazu werden aktuelle Richtlinien und Leitfäden aus dem Bereich der Infrastrukturplanung hinsichtlich ihrer Empfehlungen für den Umgang mit Geländemodellen und Georeferenzierung analysiert und Schlussfolgerungen für die eigene Arbeit gezogen.

Das fünfte Kapitel stellt die theoretische Entwicklung des folgenden Workflows der Arbeit vor. Die Überlegungen basieren auf den aufgeführten Theoriegrundlagen und dem vorherigen Kapitel der Einordnung des Digitalen Geländemodells in den BIM-Kontext. Zwei Grafiken ergänzen die schriftliche Erläuterung.

Das sechste Kapitel beinhaltet den praxisbezogenen Teil dieser Arbeit. Vorgehend wird in allen verwendeten BIM-Programmen getestet, ob diese fähig sind, Bruchkanten in einer IFC-Datei zu übernehmen. Daraufhin wird gezeigt, wie es möglich ist über das Portal OpenGeoData.NI 3D-Geobasisdaten aus Niedersachsen zu beziehen und wie diese für die Verwendung im Fachmodell ‚Freiraum‘ vorbereitet werden. Auch die Vor- und Aufbereitung von Punktwolken wird anhand der vorliegenden Daten veranschaulicht. Auf Grundlage der hieraus abgeleiteten Punktwolken-Dateien in zwei Formaten werden insgesamt neun Wege zur Erstellung von Digitalen Geländemodellen in fünf verschiedenen BIM-Programmen demonstriert. Das Anwendungskapitel schließt mit der Austestung und Dokumentation von ausgewählten Werkzeugen des Plug-ins ‚Environment‘ in Autodesk Revit für die Bearbeitung von Geländemodellen und die Integration von typischen Freiraumelementen.

Im siebten Kapitel werden zwei Möglichkeiten in Autodesk Civil 3D zur Erstellung von vergleichbaren Modellen angewendet. Zum einen werden Triangulierte Mengenmodelle erstellt, zum anderen Längsschnitte aus den Geländemodellen in Höhenplänen dargestellt.

Das achte Kapitel beinhaltet die Ergebnisse aus den zuvor erstellten Vergleichsdaten. Hier werden die Statistiken aus den Auswertungen der Triangulierten Mengenmodelle und die Höhenpläne als Übersicht und in Details gezeigt.

Im letzten Kapitel werden die Ergebnisse dieser Arbeit diskutiert und in diesem Zusammenhang die zu Anfang der Arbeit aufgestellten Forschungsfragen beantwortet. Das Kapitel schließt mit einem Ausblick auf mögliche folgende Forschungsansätze.

2 GRUNDLAGEN UND STAND DER FORSCHUNG

2.1 Building Information Modeling

Das Building Information Modeling (BIM) ist eine Planungsmethode, die auf der Umsetzung und Nutzung eines digitalen Bauwerkmodells basiert. Dieser sogenannte ‚digitale Zwilling‘ enthält neben seiner dreidimensionalen geometrischen Beschreibung eine Vielzahl an verknüpften semantischen Informationen. Dazu gehören beispielsweise Angaben zum Material, zu Kosten oder technischen Eigenschaften. BIM beschreibt somit „den Vorgang zur Erschaffung, Änderung und Verwaltung“ (BORRMANN et al. 2015, S. 4) des digitalen Bauwerkmodells mit Hilfe der Verwendung geeigneter Software für den BIM-Prozess. (s. BORRMANN et al. 2015, S. 4)

Das Modell wird als Datengrundlage durchgängig von allen beteiligten Akteur*innen und Fachdisziplinen über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks genutzt – von der Planung über den Bau, die Bewirtschaftung bis hin zum Rückbau (s. Abb. 1). Es wird von einem multidimensionalen Bauwerksmodell gesprochen, wenn das BIM-Modell um die Aspekte Zeit (4D), Kosten (5D) und Facility Management (6D) erweitert wird. (s. BLANKENBACH et al. 2022, S. 19 f.)

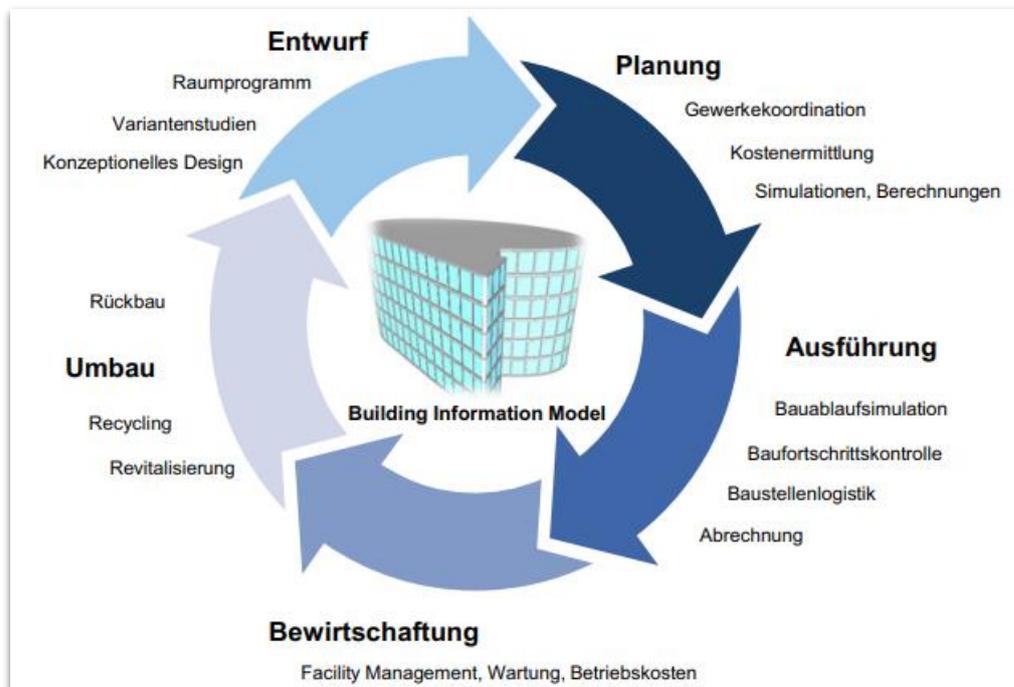


Abbildung 1: BIM-Kreislauf über den gesamten Lebenszyklus. BORRMANN et al. (2015).

Bereits im Planungsprozess ergeben sich aus der Nutzung der BIM-Methode einige Vorteile gegenüber der konventionellen zweidimensionalen Planung. Durch die konsequente (Weiter-) Nutzung eines BIM-Modells können Fehler bezüglich der wiederholten Eingabe von Informationen vermieden werden. Technische Zeichnungen wie Grundrisse, Ansichten oder Schnitte können direkt aus dem 3D-Modell abgeleitet werden. Damit sind alle Zeichnungen „automatisch untereinander widerspruchsfrei“ (BORRMANN et al. 2015, S. 5). Weitere Vorteile im Vergleich zur zweidimensionalen Planung ergeben sich aus der Anwendung von Analyse- und Simulationswerkzeugen. Durch sogenannte Kollisionsprüfungen zwischen den Teilmodellen der verschiedenen Gewerke können Planungsfehler frühzeitig entdeckt und behoben werden. Viele Informationen, beispielsweise zur Geometrie des Gebäudes, können automatisch aus dem Modell abgeleitet und übernommen werden. Auch eine Prüfung zur Einhaltung von Gesetzen, Normen und Richtlinien kann zum großen Teil durchgeführt werden. Von großer Bedeutung ist außerdem die Möglichkeit einer „äußerst präzise[n] Mengenermittlung“ (BORRMANN et al. 2015, S. 5) auf deren Grundlage eine Kostenschätzung abgeleitet werden kann.

Anzumerken ist, dass sich der Planungsaufwand gegenüber der konventionellen Planung in die frühen Phasen der Planung verlagert (s. Abb. 2). Daraus ergibt sich der Vorteil, dass Simulationen und Analysen bereits zu einem frühen Zeitpunkt durchgeführt werden können. In der bisherigen Planung können diese erst zu einem späteren Zeitpunkt stattfinden. Werden dann Planungsfehler entdeckt, kann der Entwurf nur noch eingeschränkt geändert werden und es entstehen zusätzliche erhöhte Kosten (s. BORRMANN et al. 2015, S. 5).

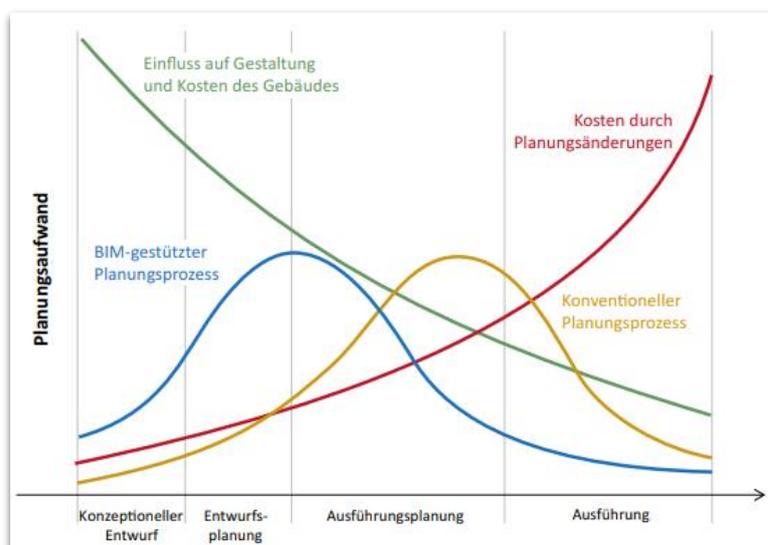


Abbildung 2: BIM – Vorverlagerung von Planungs- und Entscheidungsprozessen. BORRMANN et al. (2015), nach MACLEAMY (2004).

Im Rahmen der Ausschreibung unterstützt das vorhandene 3D-Modell die Baufirmen hinsichtlich der „Aufwandsermittlung für die Angebotsabgabe“ (BORRMANN et al. 2015, S. 7) und die genaue Abrechnung der Bauleistungen. Nach der Bauausführung wird das Modell vom Planer an den Bauherren übergeben. Informationen zu Raumgrößen, zur Gebäudetechnik, Wartung etc. können für das Facility Management weiter genutzt werden. Wichtig ist die stetige Aktualisierung des Modells. Änderungen im realen Kontext müssen direkt im digitalen Zwilling angepasst werden. Nur so kann eine zuverlässige Weiternutzung des Bauwerksmodells gewährleistet werden. Im Rückbau können Angaben zu den genutzten Materialien „eine umweltgerechte Entsorgung bzw. das Recycling von Bauteilen“ (BORRMANN et al. 2015, S. 7) unterstützen.

2.1.1 Aufbau des Bauwerksmodells

Durch die Beteiligung verschiedener Fachdisziplinen an einem Bauprojekt werden unterschiedliche Anforderungen an das Bauwerksmodell gerichtet. Gleichzeitig nutzen die Beteiligten ihre eigene „gewerkspezifische Software“ (BLANKENBACH et al. 2022, S. 19). Daraus ergibt sich, dass die Fachplanenden für ihr Gewerk sogenannte Fachmodelle erstellen (Architekturmodell, Tragwerksmodell, Haustechnik etc.). Diese können je nach Notwendigkeit weiter in Teilmodelle untergliedert werden. Alle Fach- und deren Teilmodelle werden zu einem Gesamtmodell, auch Koordinationsmodell genannt, zusammengeführt. Die Theorie sieht vor, dass alle Fachdisziplinen gemeinsam auf einem zentralen Modellserver bzw. in einer Cloud (Common Data Environment) arbeiten und dort stets alle aktuellen Modelle abspeichern können. Nur so kann das vorgesehene kooperative und transparente Arbeiten funktionieren. In der Praxis sieht es zum heutigen Zeitpunkt jedoch größtenteils so aus, dass die Fach- und Teilmodelle zu einem vereinbarten Zeitpunkt ohne Modellserver bzw. Cloud zusammengeführt werden. (s. BLANKENBACH et al. 2022, S. 19)

2.1.2 Die Umsetzung von BIM

Die Umsetzung von BIM erfordert durch den Wechsel auf die modellbasierte Arbeit eine große Umstellung im Unternehmen. Hier ist es sinnvoll schrittweise vorzugehen. Dabei werden „verschiedene technologische Stufen“ (BORRMANN et al. 2015, S. 7) nach Art der Kollaboration mit anderen Unternehmen unterschieden (s. Abb. 3). Diese werden mit den Begriffen ‚little‘, ‚big‘, ‚closed‘ und ‚open‘ beschrieben. Bei ‚little BIM‘ findet die Arbeit mit der Planungsmethode nur durch eine/n einzelne/n Akteur*in innerhalb der eigenen Fachdisziplin statt. Es wird abgesehen von der eigenen BIM-Planungssoftware keine weitere Software für die Weiternutzung des Modells oder die Koordination eingesetzt. Auf der anderen Seite

sind bei ‚big BIM‘ alle Fachplanenden am Bauprozess über den gesamten Lebenszyklus in die Arbeit mit BIM eingebunden. Für die Kommunikation findet ein „modellbasierter Datenaustausch“ (BLANKEBACH & CLEMEN 2020, S. 23) statt. Parallel zu der Unterscheidung zwischen einem Nutzenden oder allen eingebundenen Fachdisziplinen steht der Einsatz eines oder mehrerer Softwareprodukte und Datenaustauschformate. Werden nur Softwareprodukte eines einzelnen Herstellers verwendet, handelt es sich um ‚closed BIM‘. Entsprechend werden für den Datenaustausch nur eigene Schnittstellen genutzt. Bei ‚open BIM‘ werden verschiedene Softwarelösungen mit „neutralen Daten(austausch)formaten“ (BLANKEBACH & CLEMEN 2020, S. 24) verwendet. Zu nennen sei hier das herstellerneutrale Datenformat ‚Industry Foundation Classes‘ (IFC), welches bereits Anfang der 1990er Jahre von der Internationalen Allianz für Interoperabilität (heute buildingSMART) eingeführt wurde. (s. BLANKEBACH & CLEMEN 2020, S. 23 f.; BORRMANN et al. 2015, S. 7 ff.)

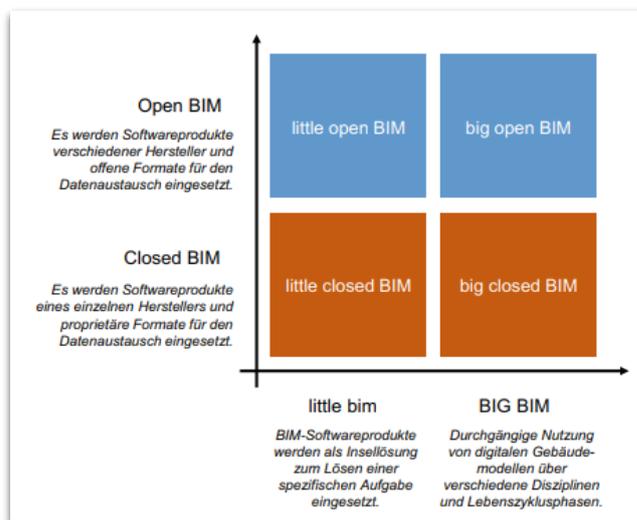


Abbildung 3: Technologische Stufen von BIM nach Art der Kollaboration. BORRMANN et al. (2015).

Für den größten Mehrwert sollte es das Ziel sein, ‚Big Open BIM‘ schrittweise flächendeckend in der gesamten Baubranche zu etablieren. Nur so ist es möglich, die angestrebte kooperative und transparente Arbeitsweise und den stetigen Austausch zwischen allen Akteur*innen zu gewährleisten (HAUSKNECHT & LIEBICH 2016, S. 62 ff.).

Wie dieses Ziel erreicht werden kann, hat die britische BIM Industry Working Group in einem BIM-Reifegradmodell (BIM Maturity Model) ausgearbeitet (s. Abb. 4) Das Modell sieht vier Stufen für die Umsetzung von BIM vor. Stufe 0 beschreibt die konventionelle CAD-basierte Arbeit und den Austausch von Informationen über gedruckte zweidimensionale Pläne. In Stufe 1 wird größtenteils in 2D gearbeitet, einzelne Bereiche des Baus werden

allerdings bereits in 3D modelliert, einzelne Dateien in proprietärem Format werden geteilt. Stufe 2 sieht die Erstellung von 3D-Modellen mit BIM-Software vor. Es werden bereits fachspezifische Teilmodelle erstellt und miteinander abgeglichen. Über eine gemeinsam verwaltete Projektplattform findet ein Datenaustausch mit herstellerspezifischen Formaten statt. Durch die letzte Stufe 3 wird die bereits zuvor erläuterte Umsetzung von ‚Big Open BIM‘ erreicht.

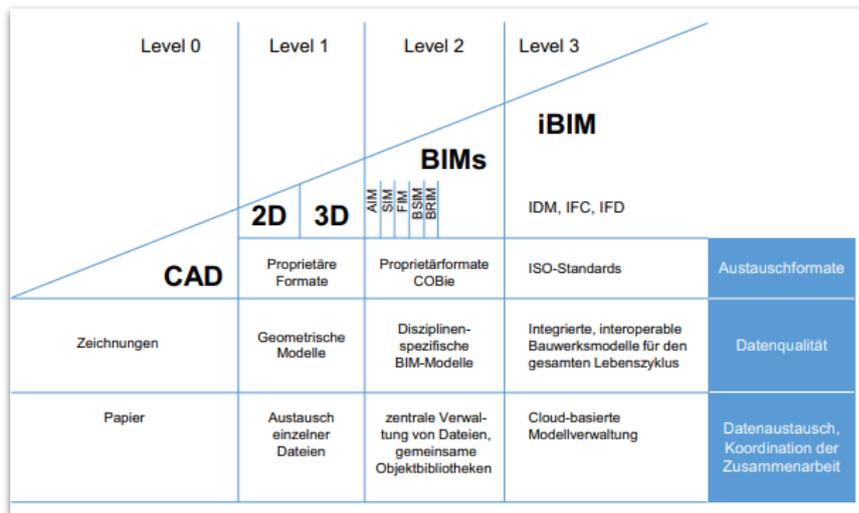


Abbildung 4: Das BIM-Reifegradmodell. BORRMANN et al. (2015).

Für eine erfolgreiche Umsetzung ist es zu Beginn des BIM-Projekts notwendig, die vertraglichen Vereinbarungen zwischen allen beteiligten Akteur*innen festzulegen. Die Vereinbarungen werden „hinsichtlich der Modellinhalte, der Modellqualität und der Prozessabläufe, letzteres insbesondere in Bezug auf die Übergabe von Modellen“ (BORRMANN et al. 2015, S. 10) getroffen. Inhaltliche Festlegungen wie „Verantwortlichkeiten, Übergabezeitpunkte, verwendete Software und einzusetzende Datenaustauschformate“ (BORRMANN et al. 2015, S. 11) die der Auftraggebende vom Auftragnehmenden einfordert, werden in den „Auftraggeber-Informationen-Anforderungen“ (AIA) definiert. Als Teil der Vergabe beschreiben sie ausführlich die BIM-Leistungen. Konkrete Schritte zur Umsetzung werden auf Grundlage der AIA im „BIM-Abwicklungsplan“ (BAP) festgehalten. Der BAP wird nach Vertragsabschluss weiter ausgearbeitet und über den gesamten Prozessablauf fortgeführt. (Borrmann et al. 2015, S. 10 ff.; ARGE BIM4INFRA 2019a, S. 6 ff.; ARGE BIM4INFRA 2019b, S. 6 ff.)

2.1.3 Industry Foundation Classes

Eine wichtige Rolle für die Umsetzung von ‚Big Open BIM‘ spielen die bereits genannten herstellerneutralen Austauschformate. Sie ermöglichen einen Datenaustausch zwischen

verschiedenen BIM-Softwarelösungen und sollen die Chancengleichheit auf dem Markt unterstützen. Das Datenformat Industry Foundation Classes wurde von der Internationalen Allianz für Interoperabilität (IAI) in den 1990er Jahren entwickelt. Heute ist die Non-Profit-Organisation unter dem 2005 entstandenen Namen buildingSMART bekannt. Die erste IFC Version 1.0 wurde 1997 eingeführt. Nach mehreren Jahren der Weiterentwicklung ist die Version 2 x 3 heute am gebräuchlichsten. Die Folgeversion 4.0 löst diese jedoch langsam ab. Durch seine kostenlose und frei zugängliche Veröffentlichung implementieren immer mehr Softwareprodukte das IFC-Format. Es wird heute bereits in mehr als 160 Softwareprodukten eingesetzt. Seit der zusätzlichen Normierung als ISO Standard (ISO 116739-1:2018) gewinnt das IFC-Format auch in der öffentlichen Hand mehr und mehr an Bedeutung. (s. BORRMANN et al. 2015, S. 83 ff.)

IFC basiert auf der Datenmodellierungssprache EXPRESS. Die realen Bauobjekte werden durch objektorientierte Datenmodelle definiert. Dabei werden sie in sogenannte Klassen (Entitäten) eingeteilt, die spezifische Attribute besitzen und Beziehungen zu anderen Klassen aufweisen. Die Eigenschaften werden durch Eigenschaftsgruppen, sogenannte PropertySets (PSets) definiert. Attribute und Beziehungen können durch „das objektorientierte Konzept der Vererbung“ (BORRMANN et al. 2015, S. 86) an Unterklassen weitergegeben werden. Es existieren einerseits „für die einzelnen Bereiche der Planungs-, Ausführungs- und Bewirtschaftungsdisziplinen“ (HAUSKNECHT & LIEBICH 2017, S. 102) unabhängige fachspezifische Klassen und andererseits abhängige Klassen, die auf Grund fehlender eigener Identitäten nicht unabhängig existieren können. Alle fachspezifischen Klassen sind in einer Vererbungshierarchie gegliedert. So werden beispielsweise die Klassen *IfcBeam* (Balken / Unterzug), *IfcColumn* (Säule) und *IfcSlab* (Decke) als Unterklassen der Klasse *IfcBuildingElement* (Bauelement) zugeordnet. Diese bildet wiederum die Unterklasse zu *IfcElement* (Element allgemein) und diese zu *IfcProduct* (Physikalisches Produkt). Modellelemente, die (noch) nicht klassifiziert sind, werden als ‚Proxy‘ bezeichnet. (s. HAUSKNECHT & LIEBICH 2017, S. 98 ff.)

Anfangs wurde das IFC-Datenmodell für den Hochbau entwickelt. In den letzten Jahren wurde jedoch bereits an Lösungen für den Infrastrukturbau gearbeitet (s. BORRMANN 2022, S. 44). Mit der Einführung des ‚Stufenplans Digitales Planen und Bauen‘ 2015 wurde diese Entwicklung weiter vorangetrieben. In Deutschland setzt sich die buildingSMART-Fachgruppe ‚BIM-Verkehrswege‘ mit der Definition von Klassen für die Infrastruktur auseinander. Dies soll zu einer Nutzung einheitlicher Begrifflichkeiten in allen Fachmodellen und Fachbereichen beitragen. Auch die Fachgruppe ‚BIM in der Landschaftsarchitektur‘ hat bereits

erste Definitionen, hauptsächlich für den Bereich der Landschaftsplanung, formuliert. Gemeinsam wurde 2020 ein erster Arbeitsstand in dem Katalog ‚BIM-Klassen der Verkehrswege‘ veröffentlicht. (s. BUILDINGSMART DEUTSCHLAND E. V. 2020)

Für diese Arbeit ist besonders die Klasse *IfcSite* (deutsch: Grundstück) von Bedeutung. Über *IfcSite* werden standardmäßig Geländemodelle definiert. Die semantische Definition für *IfcSite* lautet:

„Ein Grundstück ist eine abgegrenzte, ggf. mit Wasser bedeckte Landfläche, auf der das Projekt errichtet werden soll. Ein Grundstück kann zum Errichten, nachrüsten oder Abreißen von Gebäuden oder für andere baubezogene Entwicklungen genutzt werden.“ (BUILDINGSMART 2022a)

Nach der ISO 6707-1 wird ein Grundstück als „Land- oder Wasserfläche, auf der Bauarbeiten oder andere Entwicklungen durchgeführt werden“ (BUILDINGSMART 2022a) definiert.

Für die Georeferenzierung ist es möglich, nur einen einzelnen geografischen Bezugspunkt mit den Angaben des Längengrads, Breitengrads und der Höhe anzugeben. Als Koordinatenreferenzsystem wird dafür WGS84 gefordert. Es ist aber auch möglich eine „exakte Georeferenzierung“ (BUILDINGSMART 2022a) auch in anderen Koordinatenreferenzsystemen anzugeben. Dafür müssen die Klassen *IfcCoordinateReferenceSystem* und *IfcMapConversion* definiert sein, damit das Projektkoordinatensystem auf das geografische Koordinatensystem übertragen werden kann. Längengrad, Breitengrad und Höhe werden jeweils über die *IfcSite* *RefLongitude*, *RefLatitude* und *RefElevation* bereitgestellt. Ist ein Gebäude auf dem Grundstück platziert, wird dessen Höhe über die Höhe des Grundstücks mit definiert. Die Geschosshöhen des Gebäudes „werden als örtliche Höhe bezogen auf die Bezugshöhe des Gebäudes angegeben“ (BUILDINGSMART 2022a).

Die geometrische Darstellung von *IfcSite* wird durch die Verwendung mehrerer Vermessungspunkte und optional Bruchkanten definiert (s. Abb. 5 & 6). Bruchkanten werden in der Triangulation berücksichtigt, können aber nur Punkte miteinander verbinden, die im Vermessungspunktesatz enthalten sind. Diese Definition ist der aktuellsten IFC-Dokumentation 4.3 entnommen. Die geometrische Darstellung gilt jedoch bereits ab dem Schema IFC2x3. (s. BUILDINGSMART 2022a, BUILDINGSMART 2022b & BUILDINGSMART 2022c)

Das Geländemodell wird bisher in den Klassen der Landschaftsarchitektur in dem Katalog ‚BIM-Klassen der Verkehrswege‘ nicht berücksichtigt. (s. BUILDINGSMART DEUTSCHLAND E. V. 2020)

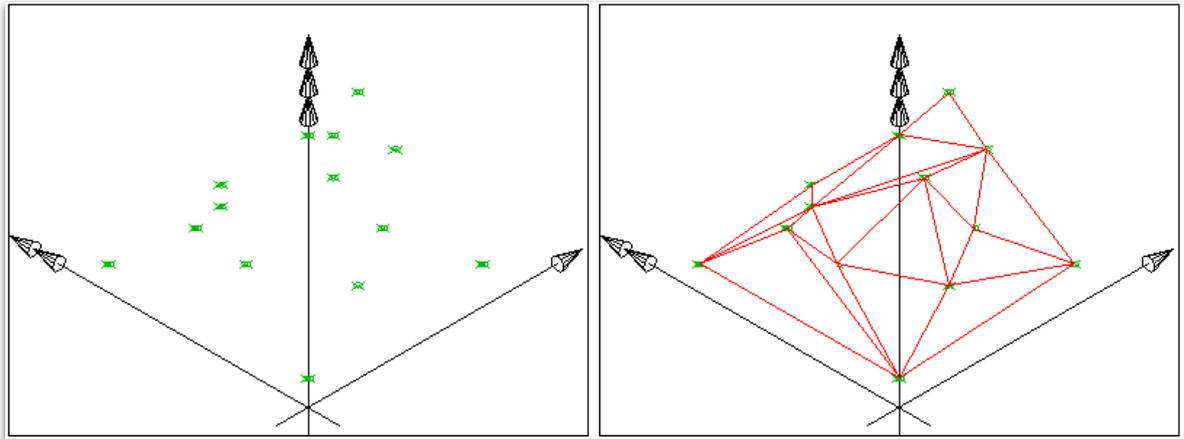


Abbildung 5: Triangulation anhand von Vermessungspunkten. BUILDINGSMART (2022a).

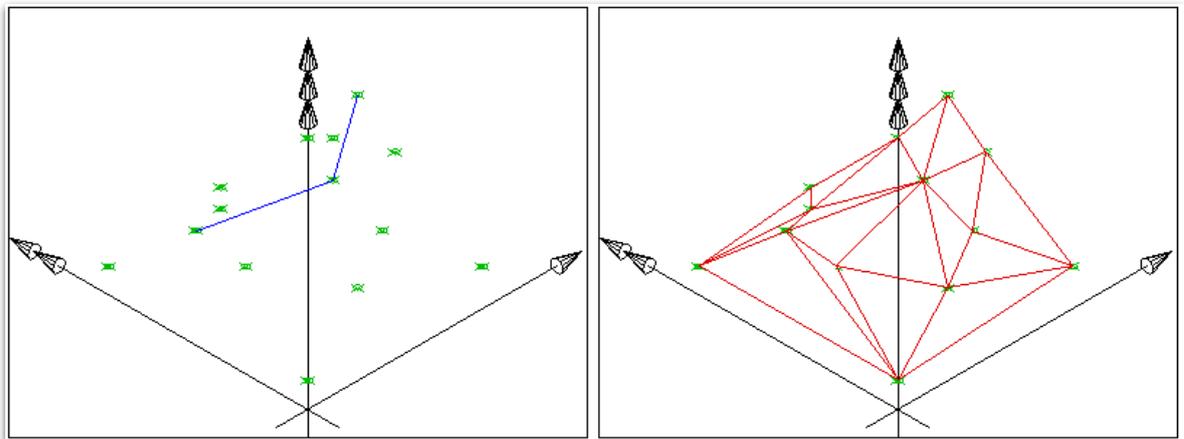


Abbildung 6: Triangulation anhand von Vermessungspunkten und Bruchkante. BUILDINGSMART (2022a).

2.1.4 BIM-Anwendungsfälle

2015 wurde auf Grund der Forderung des Bundes nach einem vermehrten Einsatz von BIM in Großprojekten der Stufenplan ‚Digitales Planen und Bauen‘ vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) veröffentlicht. Bezogen auf die Infrastrukturplanung sieht der Stufenplan eine schrittweise Einführung von BIM in Deutschland vor. Das BMVI beauftragte im Folgenden die Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA „wichtige Voraussetzungen für die Umsetzung des BIM-Stufenplans zu schaffen“ (ARGE BIM4INFRA 2017). Dazu zählt unter anderem die Durchführung verschiedener BIM-Pilotprojekte. Zur Begleitung dieser Pilotprojekte sollte die ARGE BIM4INFRA verschiedene sogenannte Anwendungsfälle ableiten. Unter einem BIM-Anwendungsfall wird der Prozess verstanden, in welchem durch den Einsatz von BIM-Modellen die zuvor definierten Ziele erreicht werden. Die Arbeitsgemeinschaft hat einige Anwendungsfälle vordefiniert, die zur Orientierung für

weitere BIM-Projekte dienen sollen. Diese sind allgemein definiert und beinhalten übergeordnete Ziele eines BIM-Projekts. Für die praktische Umsetzung eines BIM-Projekts müssen die jeweiligen in Frage kommenden Anwendungsfälle weiter konkretisiert, ausgearbeitet und angepasst werden. Eine Feingliederung findet über die definierten Fachmodelle statt. Es muss deutlich werden, welchen Zweck das jeweilige Modell über den gesamten Lebenszyklus des Bauprojekts im Projekt selbst erfüllt. Die vordefinierten Anwendungsfälle orientieren sich unter anderem an der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI). Dies ist jedoch keine verbindliche Zuordnung, sie soll als Anregung verstanden werden. (s. ARGE BIM4INFRA 2017; ARGE BIM4INFRA 2019c, S. 4 ff)

Als Beispiel für einen Anwendungsfall der Landschaftsarchitektur, in dem bereits Geländemodelle verwendet wurden, lässt sich das Forschungsprojekt ‚Entwicklung einer Methode zur Integration der landschaftspflegerischen Planung bei mit der BIM-Methode umgesetzten Straßenbau-Projekten am Beispiel des BIM-Pilotprojektes A10/A24‘ anführen. In diesem Projekt wurden die aus der Landschaftspflegerischen Ausführungsplanung stammenden Vegetationsflächen aus den zur Verfügung stehenden Bestands-Geländemodellen für die unterschiedlichen Bauabschnitte in Autodesk Civil 3D abgeleitet. (s. BRÜCKNER et al. 2022, S. 118 ff.)

2.1.5 Die Modellierung für BIM

Die Modellierung der Objekte eines Bauwerksmodells in BIM erfolgt durch die Erstellung von Volumenkörpern. Während zweidimensionale Elemente der CAD-Modelle nur aus „geometrischen Primitiven“ (BLANKENBACH et al. 2022, S. 21), also aus Punkten, Linien und Flächen erstellt werden, enthalten die Volumenkörper neben der Geometrie weitere Informationen zur Semantik (Sachdaten) und Relationen (Beziehungen) zu anderen Objekten. Jedes Bauteil ist Bestandteil einer der vom objektorientierten Datenmodell vorgegebenen Objekt- bzw. Bauteilklassen, welche inklusive ihrer Semantiken und Relationen in Bauteilkatalogen innerhalb der BIM-Software liegen. Durch dieses System werden die Bauteilobjekte zu „identifizierbare[n], benannte[n], klassifizierte[n] und attributierte[n] „Dingen““ (BLANKENBACH et al. 2022, S. 21). Beispiel für ein herstellerübergreifendes Datenmodell sind die in Kapitel 2.1.3 erläuterten Industry Foundation Classes. Für die Modellierung der Bauteile gibt es verschiedenen Modellierungsansätze. Ein Konstruktionsansatz zur Erstellung eines Volumenkörpers ist die Randflächenbegrenzung (Boundary Representation, B-Rep). Hier wird das Volumenmodell durch die umgrenzenden Flächen und damit explizit und indirekt definiert. Die räumliche Verortung im räumlichen Bezugssystem wird durch die

Koordinaten von Stützpunkten beschrieben. Ein zweiter Ansatz zur Beschreibung eines Volumenobjekts ist die Constructive Solid Geometry (CSG). Bei dieser direkten und impliziten Beschreibung werden geometrische Grundkörper wie Quader, Zylinder, Kegel etc. mit Hilfe von Booleschen Operationen miteinander verknüpft. Zu den Booleschen Operationen zählen Vereinigung, Differenz und Schnitt. Auch Rotations- und Extrusionsverfahren gehören zu den impliziten Verfahren. Implizit modellierte Geometrien sind weitestgehend parametrisch. Bei parametrischen Objekten wird die Geometrie auf Grundlage ihrer Abmessungen und eines lokalen kartesischen Koordinatensystems anstatt durch Punkte, durch seine relative Lage (Translation) und Ausrichtung (Rotation) beschrieben. (s. BLANKENBACH et al. 2022, S. 21 f.)

Der Detaillierungsgrad der Modellierung richtet sich nach dem Level of Development (LOD) also dem Fertigstellungsgrad. Dieses Konzept wurde 2011 das erste Mal vom American Institute of Architects (AIA) veröffentlicht. In den meisten Fällen wird das LOD in fünf bzw. sechs Hauptgrade gegliedert (s. Abb. 7), „von einer rein symbolhaften Darstellung in einer konzeptuellen Planungsphase bis hin zur as-built-Modellierung“ (BLANKENBACH et al. 2022, S. 23). Das LOD wird wiederum in die Level of Geometry (LOG) und Level of Information (LOI) unterteilt. Da das LOG zum Teil auch als Level of Detail (LOD) bekannt ist, kommt es häufig auf Grund desselben Akronyms zum Level of Development zu Missverständnissen. Das LOG lässt sich den Leistungsphasen der HOAI zuordnen, das LOI hingegen nicht, es ist projektspezifisch festzulegen. In Deutschland gibt es bisher keine verbindlich definierten Standards hinsichtlich der Fertigstellungsgrade. Auch der BIM-Leitfaden für Deutschland und der Stufenplan ‚Digitales Planen und Bauen‘ verweisen auf die Definition des AIA (s. Trimble 2022). (s. BLANKENBACH et al. 2022, S. 23 f.; HAUSKNECHT & LIEBICH 2015, S. 134 ff.; TRIMBLE 2022)

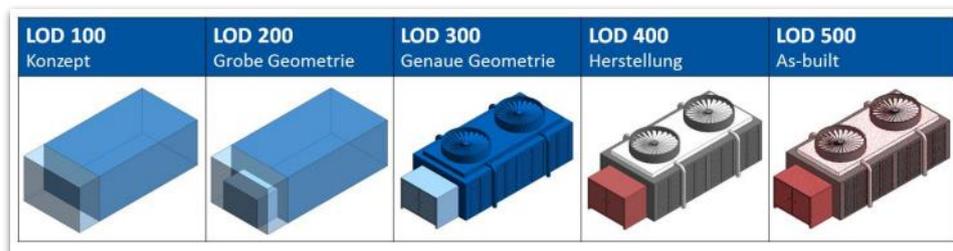


Abbildung 7: Grad der Fertigstellung (Level of Development). BLANKENBACH et al. (2022).

2.2 Amtliche Geodaten

Erster Anlaufpunkt für das Einholen von bestehenden Daten im Zuge der Grundlagenermittlung im Planungsprozess sind die in Deutschland auf landes- bzw. kommunaler Ebene organisierten Vermessungsämter. Die Vermessungsämter stellen amtliche Geodaten in analoger und digitaler Ausführung zur Verfügung. Dabei handelt es sich um Informationen, „die als wesentliches Merkmal einen Raumbezug haben“ (LGLN 2022b). Die beschriebenen geographischen Objekte können somit „einem Punkt, einer Linie oder einer Fläche auf der Erdoberfläche zugeordnet werden“ (LGLN 2022b). Innerhalb der Geodaten wird zwischen den Geobasisdaten und Geofachdaten unterschieden.

Geobasisdaten sind anwendungsneutrale Grundlagendaten und beinhalten den direkten Raumbezug. Sie beschreiben somit durch Koordinaten die Erdoberfläche mit ihren künstlichen und natürlichen Objekten wie die Landschaft (Topographie) und die Liegenschaften. Damit bilden sie das „Primärmodell des Georaumes“ (NOACK 2019, S. 64)

Die Geobasisdaten basieren auf dem sogenannten AAA-Modell. Seit 2011 werden die Nachweise des Liegenschaftskatasters im ALKIS® verwaltet. Produkte aus diesem System sind beispielsweise die Liegenschaftskarte mit zugehörigen Sachdaten und die daraus abgeleiteten Amtlichen Hausumringe und -koordinaten. (s. LGLN 2022c) Der Raumbezug wird durch die Landesvermessungsdaten des Amtlichen Festpunktinformationssystems (AFIS) und den Satellitenpositionierungsdienst (SAPOS) hergestellt. Das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS) beinhaltet alle Informationen zum Thema der großmaßstäbigen Landestopographie. Dazu zählen unter anderem Verkehrswege, Gewässer, bebaute Flächen, Vegetation und Relief. Zu den Produkten aus ATKIS gehören zweidimensionale Digitale Landschaftsmodelle (DLM) und Digitale Geländemodelle (DGM). Aus diesen werden wiederum Digitale Topographische Karten (DTK) in unterschiedlichen Maßstäben abgeleitet. Auch Digitale Orthophotos (DOP) reihen sich in die ATKIS-Produktgruppe ein. (s. LGLN 2022d)

Geofachdaten beschreiben Sachverhalte zu verschiedenen Fachgebieten aus Verwaltung, Wissenschaft und Wirtschaft wie Umweltdaten, Demographie oder Bodenkunde. Diese Daten besitzen ebenfalls einen Raumbezug über Koordinaten, können aber auch indirekt durch administrative Einheiten oder Adressen angegeben werden. (s. LGLN 2022b)

2.2.1 3D-Geobasisdaten

Für die Thematik der Grundlagenermittlung in der Landschaftsarchitektur spielen vor allem die amtlichen Geobasisdaten eine Rolle.

Neben dem zweidimensionalen auf ATKIS® basierenden Produktangebot, liegen auch dreidimensionale Daten der Landschaft vor. Diese werden mit Hilfe luftgestützter Bild- und Laserscandaten generiert. Das dreidimensionale Ergebnis eines Laserscans wird als Punktwolke bezeichnet. Diese Punktwolke besteht aus der Gesamtheit aller aufgenommenen 3D-Messpunkte (Höhenpunkte). Bei der Aufnahme von Bilddaten muss die Punktwolke im Anschluss durch photogrammetrische Verfahren erzeugt werden. Die Gesamtheit der so entstehenden Höhenpunkte wird Matching-Punktwolke genannt. Aus den 3D-Messdaten werden wiederum verschiedene Produkte abgeleitet. Dabei wird zwischen dem Digitalen Geländemodell (DGM), dem Digitalen Oberflächenmodell (DOM) und 3D-Gebäudemodellen in unterschiedlichen Detaillierungsgraden unterschieden. Während DGMs ausschließlich „die natürliche Erdoberfläche“ (LGLN 2022a) darstellen, enthalten DOMs auch alle auf der Oberfläche befindlichen Objekte wie Gebäude und Vegetation. Digitale Geländemodelle werden üblicherweise von den Landesämtern in unterschiedlichen Gitterweiten angeboten. In Niedersachsen beträgt die kleinste Gitterweite des DGM1 dabei 1,0 m mit einer Höhengenaugkeit von $\leq 0,3$ m. Daraus abgeleitet sind das DGM5, DGM10, DGM25 und DGM50, ebenfalls mit einer Höhengenaugkeit von $\leq 0,3$ m. (s. LGLN 2022a)

Die Bereitstellung der Geobasisdaten ist wie bereits erwähnt eine hoheitliche Aufgabe der Länder. Dementsprechend sind die Regelungen zur Bereitstellung unterschiedlich. Einige Bundesländer stellen ihre Daten als ‚Open Data‘ kostenfrei und in verschiedenen Dateiformaten frei zur Verfügung. In Niedersachsen können Geobasisdaten über das Geodatenportal Niedersachsen (GDI-NI) und das Portal GeoOpenData.NI bezogen werden. Auch das Nachbarbundesland Nordrhein-Westfalen stellt seine Geobasisdaten über das Geoportall NRW zur Verfügung. In anderen Bundesländern sind diese Daten aktuell nur eingeschränkt (Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Bayern) oder gar nicht (Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Bremen, Saarland) in Form von ‚Open Data‘ zu erhalten (s. Abb. 8). (s. LUNDENBERG 2022)

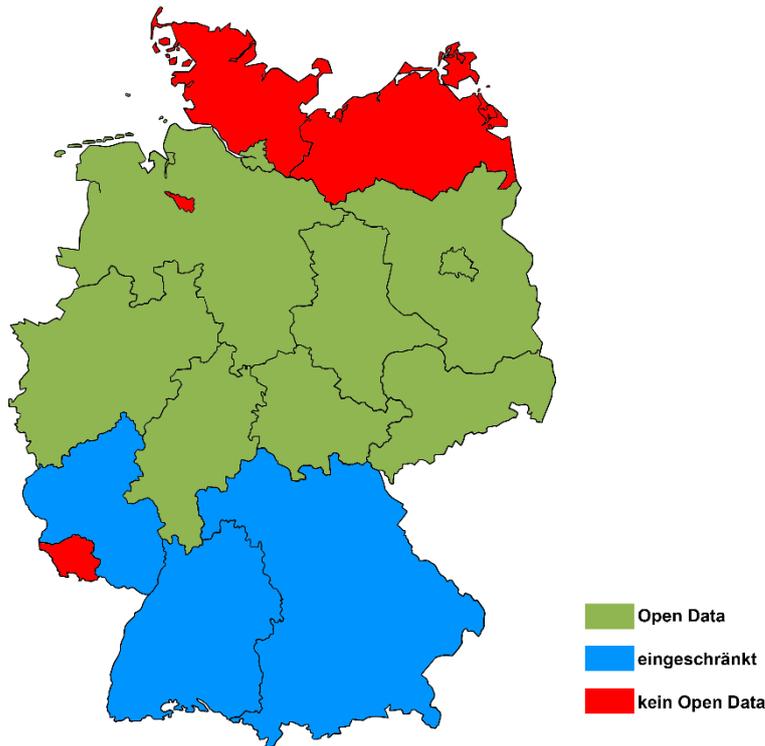


Abbildung 8: Geobasisdaten Open Data Verteilung in Deutschland. In Anlehnung an LUNDENBERG (2022).

2.3 Von der Vermessung zum Digitalen Geländemodell

BIM fordert eine hohe Aktualität und Informationstiefe der Bestandsdatenerfassung. Dem entsprechend können die bereits beschriebenen existierenden Grundlagendaten der Vermessungsämter oft nur als erster Ansatz betrachtet werden, da diese die festgesetzten Anforderungen für das Bauprojekt nicht erfüllen. Oft ist eine neue ergänzende Vermessung vor Ort erforderlich. (s. BECKER et al. 2022, S. 87)

Methoden eines Aufmaßes für BIM aus der aktuellen Praxis sind vordergründig das elektronische Handaufmaß, die Tachymetrie, die Photogrammetrie, das terrestrische Laserscanning oder die Kombination aus Laserscanning und Photogrammetrie. (s. BLANKENBACH 2017, S. 28)

Besonders „die Methoden zur flächenhaften Datenerfassung“ (BECKER et al. 2022, S. 87), ermöglichen eine vollständige und genaue dreidimensionale Datenerfassung in einem kurzen Zeitraum. Jedoch muss auch beachtet werden, dass in der Nachbearbeitung häufig ein großer manueller Arbeitsaufwand entsteht. Es gibt bereits „Methoden zur Erhöhung des

Automatisierungsgrads“ (BECKER et al. 2022, S. 87), viele sind jedoch größtenteils noch unerforscht und im Stadium der Entwicklung. (s. BECKER et al. 2022, S. 87)

Da sich diese Arbeit auf Geländedaten aus einer Drohnenbefliegung mittels photogrammetrischer Bilder bezieht, wird diese Methode im Folgenden näher erläutert.

2.3.1 UAV-Photogrammetrie

Der Prozess zur Erstellung eines Geländemodells startet mit der Vermessung des Geländes und dem daraus resultierenden Endprodukt der Punktwolke. „Eine Punktwolke ist ein Datensatz, der aus einer Vielzahl einzelner diskreter Punkte besteht, die gemeinsam eine räumliche Szene abbilden“ (DEBUS & MELLENTIN FILARDO 2021, S. 12). Sie können Ergebnis einer Vermessung mittels 3D-Laserscanning oder einer „photogrammetrischen 3D-Rekonstruktion aus Bildern“ (DEBUS & MELLENTIN FILARDO 2021, S. 12) sein. Voraussetzung für beide Methoden ist der Einsatz von unbemannten Flugobjekten (Unmanned Aerial Vehicle, UAV)). Diese werden im allgemeinen Sprachgebrauch als Drohnen bezeichnet. Drohnen können nach ihren verwendeten Flugsteuerungssystemen klassifiziert werden. Daraus ergeben sich die drei großen Klassen: Flugzeugähnlich mit horizontalen Propellern, Hubschrauberähnlich mit einem vertikalen Propeller in der Mitte (Drehflügler) und Multirotor-UAVs mit mehreren vertikalen Propellern (Multikopter) (s. Abb. 9). (s. DEBUS & MELLENTIN FILARDO 2021, S. 10 ff.)



Abbildung 9: Multikopter – DJI Mavic Pro. KRAGE (2017).

Bei der Anwendung der Photogrammetrie-Methode, also der Wissenschaft der Messung in Bildern, sind die Drohnen mit Kameras zur Aufnahme von Thermographie- oder RGB-Bildern ausgestattet. Überwiegend werden RGB-Bilder erzeugt, die auf der Dreifarbentheorie

(Rot, Grün, Blau) basieren. Damit sind „typische“ Fotos gemeint, die mit jeder Digitalkamera erzeugt werden können. Zum Einsatz können dabei sowohl Spiegelreflexkameras als auch spiegellose Kameras kommen. Letztere sind meist unempfindlicher gegenüber Vibrationen, die von der Drohne erzeugt werden. Die Qualität der spiegellosen Kameras hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen. (s. DEBUS & MELLENTIN FILARDO 2021, S.19 ff.)

Aus einer Befliegung ergibt sich eine Vielzahl an sich überlappenden Einzelbildern, die Teile des gesamten Geländes abbilden (s. Abb. 10). Durch das sogenannte Image Stitching werden diese zu einem großen zweidimensionalen Gesamtbild kombiniert. Dabei werden die sich überlappenden Bildbereiche „zueinander ausgerichtet und entzerrt, sodass sie nahtlos aufeinanderpassen“ (DEBUS & MELLENTIN FILARDO 2021, S.47). Auch Farben und die Beleuchtung werden in diesen Bereichen angepasst. Bei der 3D-Rekonstruktion findet ebenfalls eine Kombination der Einzelbilder statt. Dabei kommt die sogenannte Structure-from-Motion-Methode (SfM) aus dem Bereich des maschinellen Sehens zum Einsatz. Bei diesem automatischen Prozess wird „die räumliche Struktur von Objekten aufgrund korrespondierender Merkmale in Bildern erkannt“ (POMASKA 2022). Dabei wird neben der Geometrie auch die Position der Drohnenaufnahme berechnet. Aus dieser Anwendung entsteht zunächst eine sehr dünne Punktwolke. Diese Punktwolke wird im Anschluss durch die Verortung aller übrigen Pixel im Bild mittels Dense Image Matching verdichtet. Ergebnis ist eine dichte Punktwolke, welche die Geometrie des Geländes mit hoher Auflösung darstellt, welche in den Zentimeterbereich fällt. Die Genauigkeit, also die Qualität einer UAV-Photogrammetrie hängt von verschiedenen Einflussfaktoren ab. Dabei sind die Auflösung an der Oberfläche und die Genauigkeit der 3D-Rekonstruktion“ (DEBUS & MELLENTIN FILARDO 2021, S. 52) besonders relevant. Abschließend gilt es zu beachten, dass Punktwolken aus der Photogrammetrie nur Punkte aufnehmen, die für den Kamerasensor tatsächlich sichtbar sind. Beim 3D-Laserscanning kann die Vegetation durchdrungen werden und auch die Erdoberfläche unterhalb gemessen werden. (s. HS DEVELOPMENT & SERVICES GMBH 2022)



Abbildung 10: Aufgenommene Punktwolke mittels Photogrammetrie. SKY ELEMENTS (2022).

2.3.2 Geordnete und ungeordnete Punktwolken

Bezüglich der Aufnahmetechnik produzieren die verschiedenen Scanner-Systeme unterschiedliche Punktwolken-Dateiformate und verschiedene Arten von Punktwolken. Diese können entweder ungeordnet oder geordnet vorliegen, sie werden auch als unstrukturiert oder strukturiert bezeichnet. Der Unterschied liegt in der Art der Speicherung. Bei strukturierten Punktwolken besteht eine Beziehung zwischen den Punkten, unstrukturierte Punktwolken liegen als lange Liste vor. Diese können theoretisch in ihrer Reihenfolge ausgetauscht werden, da keine Informationen über benachbarte Punkte vorliegen. (s. POINTCAB 2021)

Üblicherweise werden Punktwolken aus einer Befliegung als unstrukturierte Punktwolke in Form von Vektordateien, sogenannten ASCII-Punktehaufen (American Standard Code for Information Interchange) abgespeichert. Eine Zeile enthält dabei Angaben zur Punktnummer, Rechtswert (x), Hochwert (y) und z-Wert (s. Abb. 11). Zusätzlich können ergänzende Daten wie Reflektivitäts- oder Farbwerte (z. B. RGB-Werte) vorliegen. Jeder Punkt hat seinen eigenen Ursprung, dieser wird jedoch in den meisten Fällen nicht mit abgespeichert. Gängige Datenformate für unstrukturierte Punktwolken sind .txt, .xyz, .LAS und .LAZ. (PETSCHEK 2014, S. 181 & POINTCAB 2021)

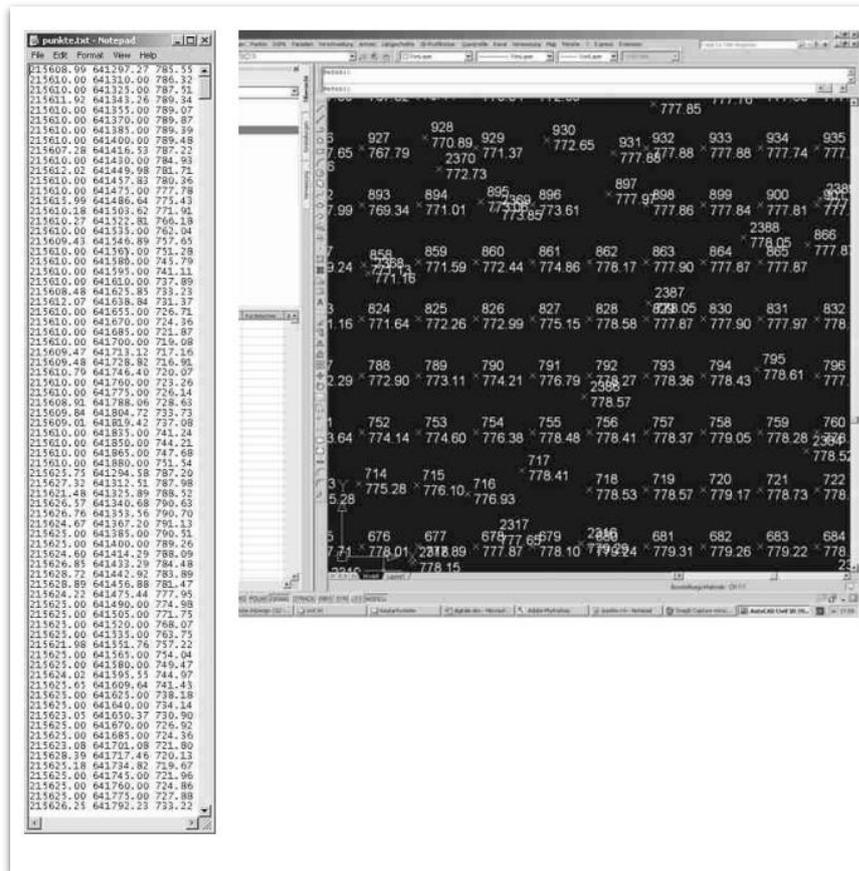


Abbildung 11: ASCII-Punktehaufen in einem Texteditor und Autodesk Civil 3D. PETSCHKE (2014).

Strukturierte Punktwolken hingegen, beispielsweise Ergebnis eines terrestrischen Laserscanners, liegen im Rasterformat vor. Dabei ist eine Projektion vom 3D-Raum in eine 2D-Ebene vorhanden. Ergebnis ist eine Matrix von gleichgroßen Rasterzellen (Pixel). Jede Zelle enthält Werte, die bestimmte Informationen darstellen. Für die Geländehöhe besteht ein zusätzliches Attribut. Dieses Datenformat wird als ASCII GRID bezeichnet (s. Abb. 12). Die meisten CAD-Programme mit Geländemodell-Funktionen können diese Daten ebenfalls lesen, ansonsten ist es möglich, Rasterhöhendaten in Vektorhöhendaten umzuwandeln. (PETSCHKE 2014, S. 183 & POINTCAB 2021).

```

hcols      275
nrows      175
xllcorner  699987.5
yllcorner  237612.5
cellsize   2
NODATA_value -9999
464.1622 464.074 464.1115 464.0644 463.9734 463.8825 463.7992 463.7487
463.6889 463.7501 463.788 463.9012 464.0817 464.3274 464.6989 465.4447
466.4341 467.6209 468.8061 470.0409 471.408 472.6955 473.2154 473.5982
473.951 474.2817 474.6088 475.0247 475.347 475.7209 476.1137 476.5769
476.8547 477.1322 477.5249 477.8295 478.2047 478.4763 478.6809 478.9682
479.1614 479.2831 479.3712 479.4943 479.7167 480.2416 480.5105 480.4932
480.8811 481.259 481.3841 481.5321 481.8181 482.1708 483.2467 483.2445
AR2 929 AR3 219 AR3 3826 AR3 A7AR AR3 6666 AR4 213A AR5 3343 AR5 6683

```

Abbildung 12: ASCII Grid-Matrix mit Höhenangaben pro Pixel. PETSCHKE (2014).

Jede Scan-Software bringt typischerweise ihr eigenes Punktwolken-Format mit sich. Dementsprechend gibt es eine große Anzahl an Dateiformaten. Es gibt jedoch auch offene Austauschformate, die eine Lösung für die unproblematische Datenweitergabe bieten. Dazu gehören unter anderem .las, .laz (komprimiert aus .las), .xyz oder .e57. Während die ersten drei nur für unstrukturierte Punktwolken ausgelegt sind, kann das .e57-Format sowohl für unstrukturierte als auch für strukturierte Punktwolken verwendet werden. Auch wenn es im Vergleich nicht so stark komprimiert ist und eine hohe Speicherkapazität benötigt, hat es sich in den letzten Jahren „zum Industriestandard entwickelt“ (POINTCAB 2022).

Auch beim Einlesen der Punktwolkendaten für die Erstellung eines Geländemodells gibt es bei einigen Herstellern Beschränkungen bezüglich der Dateiformate. So gibt beispielsweise Autodesk sein eigenes Format .rcp oder .rcs für seine Produkte vor. Dementsprechend müssen die Dateien vor der Bearbeitung in diese Formate konvertiert werden.

2.3.3 Klassifikation von Punktwolken

Die erstellte dichte Punktwolke aus der Photogrammetrie enthält zunächst keine thematischen Informationen über die Objektarten der Punkte. Es ist also noch nicht definiert, ob ein Punkt beispielsweise zur Klasse ‚Vegetation‘ oder ‚Bodenpunkte‘ gehört. Bei der Punktwolkenbearbeitung kann dafür eine Klassifikation der einzelnen Punkte oder Pixel vorgenommen werden. Aus den geometrischen Informationen eines Punkts oder Pixels werden folglich thematische Informationen abgeleitet. Dies kann für jeden Punkt einzeln vorgenommen werden. Als zweite Möglichkeit „können die Daten vorab in nicht überlappende Gebiete (Segmente) eingeteilt werden, welche dann unabhängig voneinander klassifiziert werden“ (ROTTENSTEINER 2017, S. 556). Für die Klassifikation kommen verschiedene Methoden und Algorithmen in Form eines ‚Klassifikators‘ zum Einsatz. Oft muss jedoch für eine höhere Genauigkeit händisch nachklassifiziert werden. (s. WINIWARTER et al. 2019, S. 1 f.)

2.3.4 Erstellung eines Geländemodells

Aus der zuvor generierten dichten Punktwolke lassen sich im Anschluss verschiedene Folgeprodukte ableiten. Um ein Geländemodell zu erhalten, wird aus der dichten Punktwolke in den meisten Fällen im ersten Schritt ein Digitales Oberflächenmodell entwickelt (s. Abb. 13). Ein Digitales Oberflächenmodell repräsentiert im Gegensatz zum Digitalen Geländemodell nicht nur Informationen zur natürlichen Erdoberfläche, sondern auch „alle zum Erfassungszeitpunkt vorhandenen Objekte“ (LGLN 2022a) wie Bebauung und Vegetation. Für ein Geländemodell sind nur die Bodenpunkte relevant, die im vorherigen Schritt der Nachbearbeitung und Klassifikation der Punktwolke selektiert werden können.

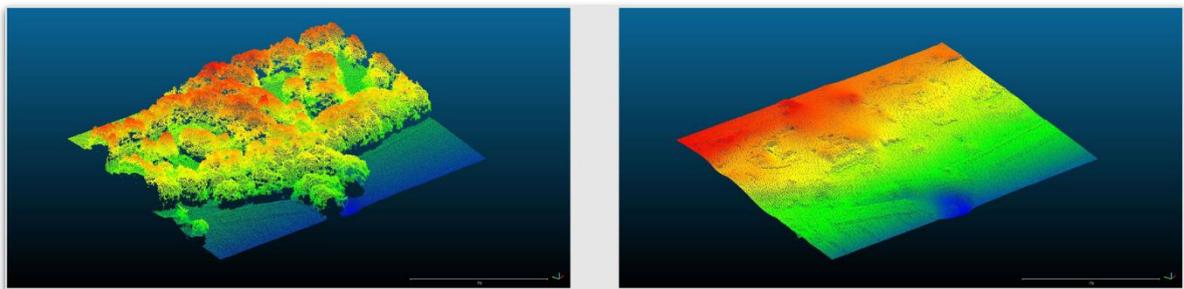


Abbildung 13: Digitales Oberflächenmodell vs. Digitales Geländemodell. 3DS-SCAN (2022).

Durch Triangulation (Dreiecksvermaschung) wird aus den 3D-Punkten der dichten Punktwolke ein sogenanntes TIN (Triangular Irregular Network) erstellt, welches aus Punkten und Kanten besteht. Dabei werden „die Daten über Dreiecke zu einer Oberfläche“ (PETSCHKE 2014, S. 188) zusammengeführt. Um bei der Dreiecksbildung ungünstige Geometrien wie langgestreckte Dreiecke zu vermeiden, kommt die sogenannte Delauny-Triangulation zum Einsatz (s. Abb. 14). Diese vernetzt die Punkte so miteinander, „dass sich innerhalb des Kreises, auf dem die drei Dreieckspunkte liegen, kein weiterer Punkt befindet“ (PETSCHKE 2014, S. 188).

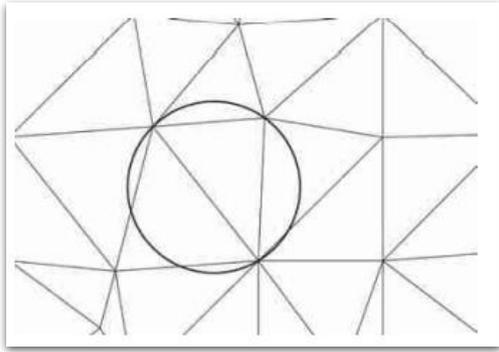


Abbildung 14: Delaunay-Triangulation: Es befindet sich kein weiterer Punkt innerhalb des Kreises. PETSCHKE (2014).

Neben den Punkten nehmen auch definierte Bruchkanten Einfluss auf das erstellte TIN. Diese kommen beispielsweise bei der Darstellung von Böschungskanten, Stützmauern oder Bordsteinen zum Einsatz (s. Abb.15). Bei diesen Bauobjekten liegen die Punkte in der Höhe unmittelbar übereinander. Da der TIN-Algorithmus keine Vermaschung solcher Punkte zulässt, müssen für Ober- und Unterkante zwei sehr dicht beieinander liegende parallele Linien definiert werden. Diese kann das Programm ohne Probleme vermaschen. (s. LGLN 2022a & PETSCHKE 2014)

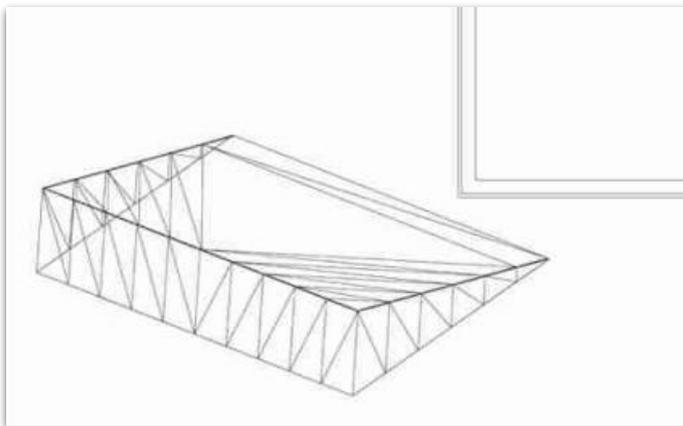


Abbildung 15: Stützmauer inklusive Bruchkante. PETSCHKE (2014).

Alternativ gibt es die Möglichkeit statt eines TIN-Modells ein ASCII Grid-Modell (DEM, Digital Elevation Model) zu erstellen. Diese hat den Vorteil, dass es nur 1/6 der Speicherkapazität eines triangulierten Modells benötigt.

2.4 Georeferenzierung in BIM

In BIM spielt die Thematik der angewandten „Bezugssysteme zur Georeferenzierung“ (BECKER et al. 2022, S. 92) eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Bei örtlich begrenzten Bauprojekten wird meist ein örtliches kartesisches Koordinatensystem verwendet. Dieses wird üblicherweise „vor Baubeginn in der Örtlichkeit durch ein entsprechendes Festpunktfeld realisiert“ (BECKER et al. 2022, S. 92). Im folgenden BIM-Prozess kann darauf immer wieder Bezug genommen werden. Abbildungskorrekturen sind somit in den meisten Fällen nicht notwendig. Bei großräumigen Projekten, z. B. im Bereich des Infrastrukturbaus, werden hingegen vorwiegend überörtliche Koordinatenreferenzsysteme genutzt. Auch für die Verwendung externer Daten spielen diese eine Rolle. (s. BECKER et al. 2022, S. 92 ff.)

2.4.1 Koordinatenreferenzsysteme

Für die Lagebeschreibung von Objekten auf der Erdoberfläche werden Koordinaten in einem definierten Koordinatensystem angegeben. Für eine eindeutige, unverwechselbare Beschreibung der Koordinatenwerte ist es notwendig, zusätzliche Informationen in Form eines geodätischen Bezugssystems (auch: Geodätisches Datum) zu erhalten. (s. LANDESVERMESSUNG SACHSEN 2022). Geodätische Bezugssysteme beschreiben die Position von Punkten bezüglich ihrer dreidimensionalen räumlichen Position (erdfeste Bezugssysteme bzw. Koordinatensysteme), zweidimensionalen Lage (Lagebezugssysteme), ihrer eindimensionalen Höhe (Höhenbezugssysteme) und Schwere (Schwerebezugssysteme). Sie schaffen somit den Bezug des Koordinatensystems zum Erdraum. (s. SPEKTRUM 2022)

Definiert wird das Geodätische Bezugssystem anhand der Lagerung im Erdkörper, anzuwendender physikalischer Größen, Formeln und des zu verwendenden Bezugsellipsoids. Diese Definition wird durch den sogenannten Bezugsrahmen (Festpunkte und deren Koordinaten) realisiert und kann so für Vermessungen angewandt werden. (s. LANDESVERMESSUNG SACHSEN 2022)

Diese Verknüpfung aus einem Koordinatensystem (Coordinate System) mit einem Geodätischen Bezugssystem, wird als Koordinatenbezugssystem oder Koordinatenreferenzsystem (Coordinate Reference System – CRS) bezeichnet (s. Abb. 16). Notwendige Angaben für den Austausch von Koordinaten in Form des CRS definiert die ISO 19111. (s. LANDESVERMESSUNG SACHSEN 2022).

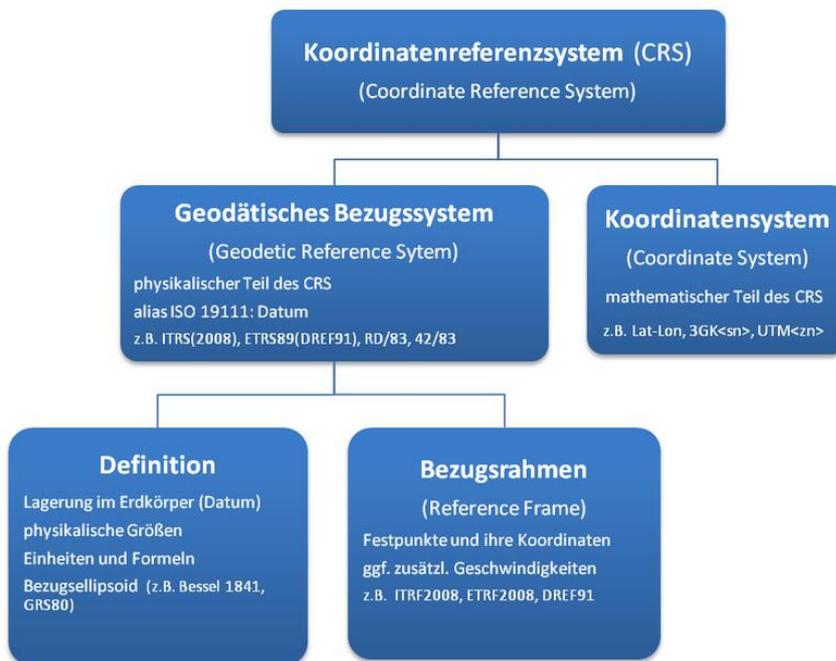


Abbildung 16: Aufbau eines Koordinatenreferenzsystems. LANDESVERMESSUNG SACHSEN (2022).

Für eine weltweit geltende Definition von Koordinatenreferenzsystemen und anderen geodätischen Datensätzen wurde ein eindeutiges System aus vier- bis fünfstelligen Schlüsselnummern, bekannt als EPSG-Codes, entwickelt. (s. GEOPORTAL RHEINLAND-PFALZ 2019)

2.4.2 Aktuelle Bezugssysteme in Deutschland

Im Laufe der Jahrhunderte haben sich in Europa eine Vielzahl an Bezugs- und Abbildungssystemen gebildet, deren Gebrauch „die Aspekte einer großräumigen Betrachtung nicht berücksichtigt[e]“ (BEZIRKSREGIERUNG KÖLN 2020). Mit der Einführung des obengenannten AAA-Modells beschloss die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) das geodätische Bezugssystem ETRS89 (Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989) als amtliches Lagebezugssystem für eine Vereinheitlichung in Deutschland. 1995 folgte der Beschluss zur Einigung auf die Universale Transversale Mercatorprojektion (UTM) als zu verwendendes Koordinatensystem. Das ETRS89/UTM gilt europaweit einheitlich „für die grenzüberschreitende Nutzung von Geodaten“ (BORRMANN & HEUNECKE 2020). Die aktuelle amtliche Umsetzung des ETSR89 in Deutschland trägt die Bezeichnung ETRS89/DREF91(R2016) und basiert auf der deutschlandweiten Durchführung einer Neuvermessung, welche 2008 durch die AdV durchgeführt wurde. Als amtliches Höhenbezugssystem gilt das Deutsche Haupthöhennetz 2016 mit der

Bezeichnung Höhe über Normalhöhen-Null (NHN) im DHHN2016. Eine Übersicht der wesentlichen Merkmale von ETRS89/UTM zeigt Tabelle 1.(s. BEZIRKSREGIERUNG KÖLN 2020 & BORRMANN & HEUNECKE 2020)

Tabelle 1: Merkmale von ETRS89/UTM. BEZIRKSREGIERUNG KÖLN (2020).

Bezugssystem	Europäisch terrestrisches Referenzsystem 1989
Bezugsfläche	GRS80-Ellipsoid, Große Halbachse a: 6 378 137 m und Abplattung f: 1 : 298, 257 222 101
Datum/Lagerung	Fundamentalstationen des ITRS zum Zeitpunkt Januar 1989
Abbildung	Universale Transversale Mercatorabbildung (UTM)
Projektion	Schnittzylinder - siehe Abb. 2
Meridianstreifensystem	6° breite Meridianstreifen (Zonen)
Hauptmeridian	nicht längentreu, Maßstabsfaktor 0,9996
Netzgrundlage	ETRS89

2.4.3 UTM-Verzerrungen

Für kleinräumige BIM-Projekte eignet es sich, in einem lokalen kartesischen Koordinatensystem mit ebenem Bezugshorizont zu arbeiten. Dabei beträgt der Maßstab 1:1, es ergibt sich somit keine Maßstabsverzerrung. Gemessene Längen im Modell entsprechen somit den realen Längen vor Ort. Es bietet sich an, das Koordinatensystem orthogonal zu Kartennord auszurichten und eine lokale Nullhöhe (+/- 0.00) als Höhenreferenz anzugeben. BIM-Softwares arbeiten meist mit so einem Koordinatensystem. (s. SCHROTH 2021)

Anders sieht es aus, wenn Grundlegendaten aus überörtlichen Koordinatenreferenzsystemen integriert werden müssen, oder es sich um langgestreckte und / oder großräumige Projekte handelt. Hier werden überörtliche Koordinatenreferenzsysteme genutzt, um Differenzen bei Anschlusshöhen zu vermeiden oder Absteckmaße zu übertragen. (s. BECKER et al. 2022, S. 92)

Für ein Gebrauchskoordinatensystem ist es notwendig, die geografischen Koordinaten auf eine zweidimensionale Fläche zu übertragen. Dafür muss eine Bezugsfläche für diese Kartenprojektion definiert werden. Das sogenannte Geoid, welches die Erde auf der Niveaufläche auf Meereshöhe abbildet, ist dafür weniger geeignet, da es zu unregelmäßig ist. Ge-

nutzt wird stattdessen ein Rotationsellipsoid, welches sich dem Geoid weitestgehend annähert. Ein Ellipsoid, welches sich der gesamten Erde anpasst, wird als „Mittleres Erdellipsoid“ bezeichnet. Passt sich ein Ellipsoid nur in einem bestimmten Bereich an (bspw. Deutschland) bezeichnet man dies als Referenzellipsoid. Für die Projektion wird die Universale Transversale Mercator Projektion genutzt. Das Referenzellipsoid des ETRS89 ist das GRS80-Ellipsoid. Bei dieser Kartenprojektion wird die Erdoberfläche in 6° breite Meridianstreifen (Zonen) auf einem Zylindermantel eingeteilt. Für jeden Streifen wird ein eigener Zylindermantel verwendet, der querachsig zur Rotation steht und das Ellipsoid durchschneidet. Deutschland liegt größtenteils in den UTM-Zonen 32 und 33. (s. SCHIRMER 2021)

Mit der Nutzung dieser Projektion gehen Längen- und Flächenverzerrungen an den Streifenrändern einher, wodurch die aus den Koordinaten abgeleiteten Strecken und Flächen nicht den realen Messungen entsprechen. Beispielsweise beträgt der Verzerrungsfaktor im Mittelmeridian 0.9996, das bedeutet, dass die Strecken um ca. 40 cm pro Kilometer zu kurz abgebildet werden. Hier ist die Verkürzung am größten. Je weiter man sich vom Mittelmeridian in Richtung Osten und Westen entfernt, desto geringer werden diese Verkürzungen. Bei einem Abstand von ca. 180 km zum Mittelmeridian sind die Längen streckentreu. Bei größeren Entfernungen fallen die Abbildungsverzerrungen in einen positiven Bereich, hier werden die Strecken zu lang abgebildet (s. Abb. 17). Die UTM-Reduktion kann je nach Abstand zum Mittelmeridian Werte zwischen +20 cm/km und -40cm/km betragen. (s. SCHIRMER 2021)

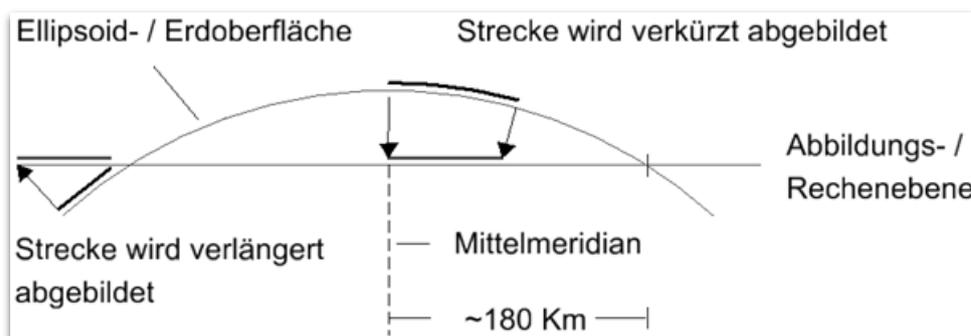


Abbildung 17: Streckenverzerrungen bei der UTM-Projektion. GEOMAPPING (2021).

Auch in der Höhe gibt es eine Reduktion der Strecken, die sogenannte Höhenreduktion. Diese beträgt „bei NHN-Höhen bis 1000 m bis zu -16 cm/km“ (BECKER et al. 2020, S. 97). Abbildungs- und Höhenreduktion ergeben zusammen die Gesamtreduktion und können sich von Fall zu Fall gemeinsam verstärken oder gegenseitig aufheben. In der BIM-Praxis

wird möglichst ohne Korrekturen am Maßstab in 1:1 geplant. Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass diese Verzerrungen bei Koordinaten in geodätischen Bezugssystemen wie dem ETRS89/UTM vorkommen und diese je nach Ausmaß Auswirkungen auf die Genauigkeit einer Projektplanung haben können und damit Widersprüche und Kollisionen zwischen Bauteilen aufkommen können. Die Überlegungen hinsichtlich von Korrektur und einzuhaltender Toleranzen sollte bereits zu Beginn eines Projekts geklärt und entsprechend bei der Absteckung berücksichtigt werden. BECKER et al. 2020 weisen jedoch auch darauf hin, dass bisher im Bereich von BIM noch keine formulierten Standards existieren. (s. BECKER et al. 2020, S. 97 ff.)

2.5 Stand der Forschung

Auch wenn das Thema BIM in der Landschaftsarchitektur immer noch am Anfang der Entwicklung steht, lässt sich feststellen, dass immer mehr Publikationen und Abschlussarbeiten dazu veröffentlicht werden.

Eine wichtige Grundlage für diese Arbeit bildet der „Leitfaden Geodäsie und BIM“ der Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement und des Runden Tisches GIS e. V. in der Version 3.1 aus dem Jahr 2022. Hier werden die für den BIM-Bereich relevanten Thematiken der Vermessung und grundlegendes Wissen zu BIM erläutert. Beispielsweise wird hier die Problematik der Georeferenzierung aufgegriffen und erläutert. Neben der Betrachtung relevanter Software und Dienstleistungen wird anhand verschiedener beispielhafter Projekte der Bezug von BIM zu GIS hergestellt. Abschließend werden Handlungsempfehlungen gegeben. Da der Leitfaden regelmäßig aktualisiert und erweitert wird, besteht ein direkter Zusammenhang zum gegenwärtigen Stand der Praxis. (s. DVW E. V. UND RUNDER TISCH E. V. 2022)

Ebenso grundlegend für diese Arbeit ist das Buch „BIM & GIS – Grundlagen, Synergien und Best-Practice-Beispiele“ von KAUER et al. aus dem Jahr 2021. Auch dieses Werk beschäftigt sich mit der komplexen Zusammenführung von BIM und GIS. Diese werden ebenso an Beispielen aus der Praxis dargestellt. Im Kapitel 3.3 „Brücken zwischen den Welten“ wird der Bogen zum Thema Punktwolken in der Bestandserfassung gespannt. Zunehmend wird das sogenannte Scan-2-BIM-Verfahren im Hochbau für das „Bauen im Bestand“ angewendet. Auf Grund fehlender Planungsdaten bei Bestandsgebäuden wird die Objekterfassung mittels Laserscanning-Methoden genutzt. KAUER et al. stellen hier eine Verbindung zur GIS-Welt her, da einerseits Höhenmodelle in Deutschland durch Überfliegungen generiert werden, andererseits bei der Bestandserfassung nicht nur das

Bestandsobjekt, sondern auch dessen Umgebung georeferenziert erfasst werden kann (s. KAUER et al. 2021, S. 95). Das Scan-2-BIM-Verfahren lässt sich so auch auf die Landschaftsarchitektur übertragen. Ein möglicher Workflow für Autodesk-Produkte - von der Aufnahme einer Punktwolke, über die Bearbeitung und Weiterverwendung für Bestandsmodelle - wird in drei aufeinander aufbauenden Seminaren der Scan2BIM-Ausbildung von der MENSCH UND MASCHINE ACADGRAPH GMBH vorgestellt (s. MENSCH UND MASCHINE ACADGRAPH GMBH 2022a). Die Inhalte des Seminars können ebenfalls vom Hochbau auf die Landschaftsarchitektur übertragen werden.

An den Hochschulen mit einem Bezug zum Thema Landschaftsarchitektur wird immer mehr Forschung zu BIM in der Landschaftsarchitektur betrieben. In Abschlussarbeiten und Forschungsaufträgen werden konkrete Fragestellungen zu BIM anhand von Praxisbeispielen erarbeitet. Beispielsweise werden verschiedene Programme hinsichtlich ihres Potenzials für die Landschaftsarchitektur getestet sowie Strategien und Richtlinien zur Umsetzung aufgestellt.

Überschneidungen zur vorliegenden Arbeit zum Thema der Geländemodellierung bestehen beispielsweise zu der Bachelorarbeit von Anna MÜLLER „BIM-gestützte Massenermittlung am Beispiel eines Brückenmodells“ aus dem Jahr 2021 an der Hochschule Osnabrück. Hier findet eine Geländemodellierung in Autodesk Revit mit dem Zusatzmodul ‚Site Designer‘ statt. Für die aktuelle Version von Revit 2022 steht dieses Tool allerdings nicht mehr zur Verfügung (s. AUTODESK SUPPORT 2021).

Weitere Überschneidungen bestehen zur Masterarbeit von Jonas KÄLIN von der Fachhochschule Erfurt (Titel: „Anwenderbezogene Auswertung und Darstellung von Daten aus modernen digitalen Vermessungstechniken anhand eines dreidimensionalen Modells – Als Digitale Abbildung des „Neuen Markts“ der Stadt Haan) aus dem Jahr 2021. Die Arbeit konzentriert sich im praktischen Teil auf die Auswertung von Daten aus modernen digitalen Vermessungstechniken und den anschließenden Vergleich zu zweidimensionalen Bestandsdaten. Hier wird somit das Thema der Bestandsdatenerfassung aufgegriffen, ein allgemein gültiger Workflow für den Umgang mit Bestandsdaten in der Landschaftsarchitektur wird jedoch nicht vorgestellt.

In der Bachelorarbeit „Einsatzmöglichkeiten von „Unmanned Aerial Vehicles“ (UAVs) zur Erzeugung von Aufmaßdaten im Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau – ein praxisorientierter Methodenvergleich von UAV-gestützten und terrestrischen Aufnahmeverfahren“ von André WEISSMANN aus dem Jahr 2015, Hochschule Osnabrück, werden die zwei im

Titel genannten Methoden praktisch angewendet und die Ergebnisse innerhalb einer Software miteinander verglichen. Hier werden wie in der vorliegenden Arbeit Oberflächen und Differenzkörper für den Vergleich der Geländemodelle erstellt.

Weitere Abschlussarbeiten befassen sich mit der Implementierung von BIM in der Landschaftsarchitektur mittels der Software Autodesk Revit. So erprobte Nils MAßLING in seiner Bachelorarbeit von 2018 „BIM-gestützte Modellierung in der Landschaftsarchitektur – am Beispiel eines städtischen Platzes mit Autodesk Revit“ die Modellierung mit Autodesk Revit anhand eines praktischen Beispiels und stellte so erste mögliche Ansätze eines Workflows vor. Claudia FASOLD erstellte im selben Jahr im Rahmen ihrer Masterarbeit ein „Schulungskonzept zur BIM-Qualifizierung von Landschaftsarchitekten – erarbeitet auf der Basis von Autodesk Revit“. Die hier vorgestellten Workflows erfassen auch kurz den Themenbereich der Grundlagenermittlung und die Erstellung eines Geländes. Diese Masterarbeit beinhaltet wichtige Grundlagen, die durch heutiges Wissen erweitert und aktualisiert werden können. Matthias REMY zeigt in seiner Masterarbeit „Entwicklung einer Modellierungsrichtlinie für Objekte des Freiraums für den BIM-basierten Bauantrag am Beispiel der Außenanlagenplanung des Bauvorhabens ‚Elbtower‘ in Hamburg“ von 2021 ebenfalls die Modellierung von Bauteilen in Autodesk Revit.

Bekannt für die Arbeit mit Autodesk Revit in der Landschaftsarchitektur ist die US-amerikanische Landschaftsarchitektin Lauren Schmidt. Sie befasst sich seit mehreren Jahren mit der Anwendung von Revit für die Landschaftsarchitektur. In einem eigenen Blog „landarch-BIM“ stellt sie ihre Arbeitsweise mit Revit für die Landschaftsarchitektur vor. (s. SCHMIDT 2022)

Auch zu der Arbeit mit BIM in Vectorworks und ArchiCAD gibt es bereits erste Arbeiten. In den Bachelorarbeiten „Umsetzung eines BIM-Workflows mit Vectorworks auf Basis einer Modellierungsrichtlinie für den BIM-basierten Bauantrag“ und „Umsetzung eines BIM-Workflows mit ArchiCAD auf Basis einer Modellierungsrichtlinie für den BIM-basierten Bauantrag“ (2022) zeigen Julia WEBER und Mascha WINTER die Möglichkeiten der Modellierung von BIM-Bauteilen in Vectorworks und ArchiCAD. Beide gehen kurz auf die Thematiken der Georeferenzierung und der Geländemodellerstellung ein.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für die einzelnen Bestandteile dieser Arbeit bereits theoretische Forschungsansätze vorhanden sind und erste Workflows zur Verfügung stehen. Die Thematik der Punktwolkenerfassung wird bisher größtenteils im Zusammenhang mit dem Hochbau und Bestandsgebäuden genutzt (z. B. KICKLER 2021). Hierfür

lassen sich jedoch nur wenige Praxisbeispiele und Vorgehensweisen finden. Die Punktwolkenaufnahme und -bearbeitung wird häufig sehr detailliert für den Fachbereich der Vermessung oder Geoinformatik aufgegriffen (z. B. WINIWARTER et al. 2017). Für die Landschaftsarchitektur sind diese Erläuterungen zu komplex und fachspezifisch, sodass diese im Berufsalltag nicht umzusetzen sind.

Einige Arbeiten befassen sich mit dem Thema der Bestandsdatenerfassung, andere mit der Entwicklung von Workflows für die Erstellung von BIM-Bauteilen in Autodesk Revit, Vectorworks und Graphisoft Archicad. Es lassen sich jedoch keine Anhaltspunkte für bestehende Forschung zur Geländemodellierung in den verschiedenen Softwareprodukten und deren Vergleich finden. Auch ein umfassender Workflow für die Erfassung und Weiterbearbeitung von Geländedaten ist noch nicht etabliert. Einzelne Aspekte zur Georeferenzierung und Geländemodellierung der vorgestellten Arbeiten fließen in diese Arbeit ein.

3 MATERIAL UND METHODE

3.1 Eingesetzte BIM-Softwares

In diesem Kapitel werden die in dieser Arbeit verwendeten BIM-Softwares vorgestellt.

3.1.1 Autodesk AutoCAD Civil 3D

Version: Autodesk Civil 3D 2023

AutoCAD Civil 3D ist eine 2D/3D-CAD-Software des US-amerikanischen Softwareunternehmens Autodesk. Aufbauend auf der AutoCAD-Basis eignet sich das Programm insbesondere für die Planung, den Entwurf und die Verwaltung von Projekten aus den Bereichen Infrastruktur, Erschließung und Tiefbau. Sie unterstützt die Denk- und Arbeitsweise von BIM durch integrierte Funktionen in den Bereichen Entwurf, Konstruktion und Dokumentation. In Civil 3D können über die Funktionalitäten von AutoCAD hinaus intelligente Objekte wie Digitale Geländemodelle, Baugruben, Achsen oder 3D-Profilkörper erstellt werden. Besonders durch die Möglichkeiten der Integration und Bearbeitung Digitaler Geländemodelle bietet sich Civil 3D als Softwarelösung für BIM in der Freiraumplanung an. (s. AUTODESK 2022)

3.1.1.1 Trianguliertes Mengenmodell

Das Triangulierte Mengenmodell ist das Ergebnis eines Vergleichs zwischen zwei Geländemodellen. Ein Geländemodell wird dabei als Urgelände bezeichnet, das zweite als Vergleichs-DGM. Das Mengenmodell ergibt eine Zusammensetzung aus Punkten, welche die „exakte Differenz zwischen dem Urgelände und dem Vergleichs-DGM“ abbilden. Die Höhe jedes Punktes (Z-Wert) des Mengenmodells entspricht somit der Differenz zwischen den entsprechenden Höhenpunkten beider Geländemodelle. Das Mengenmodell kann für verschiedene Geländemodell-Typen (Raster, TIN) angewendet werden. Informationen zu Auftrags- und Abtragsmengen können über die DGM-Definition abgerufen werden. (s. AUTODESK HELP 2018)

3.1.1.2 Höhenpläne

In Höhenplänen können einzelne oder mehrere zuvor erstellte Geländelängsschnitte entlang einer horizontalen Achse abgebildet werden. Es ist möglich Schraffurflächen anzulegen, welche Abtrags- und Auftragsflächen anzeigen. Höhenpläne können verwendet werden, um in der Infrastrukturplanung mehrere Längsschnitte entlang einer Route für Straßen,

Haltungen, Zäune o. ä. darzustellen oder „um die Höhen verschiedener DGMs zu vergleichen oder Längsschnitte entlang der Achse zu entwerfen“ (AUTODESK HELP 2019). (s. AUTODESK HELP 2019)

3.1.2 Autodesk Revit

Version: Autodesk Revit 2023

Im Gegensatz zu AutoCAD Civil 3D basiert die von Autodesk entwickelte BIM-Software Revit nicht auf AutoCAD. Revit arbeitet objektorientiert und erfüllt somit ein wichtiges Kriterium für die Arbeitsweise mit BIM (s. HAUSKNECHT & LIEBICH 2015, S. 71 ff.). Revit zeichnet sich durch „das datenbankorientierte Arbeiten mit vielfältigen parametrisierbaren Komponenten“ (HAUSKNECHT & LIEBICH 2015, S. 85) aus. Diese Komponenten werden als Familien bezeichnet. Neben bereits vorhandenen Familien ist es möglich, eigene parametrische Bauteile mit Hilfe der vorhandenen Modellierungstools zu erstellen. Auch die bi-direktionale Arbeitsweise im Modell und in den Plänen sowie Listen ist ein wesentliches Merkmal der Software. Änderungen im Planungsprozess werden automatisch für alle Inhalte des Projekts angepasst. Revit ist in den drei Versionen ‚Revit Architecture‘ für den Architekturbereich, ‚Revit Structure‘ für die Tragwerksplanung und ‚Revit MEP‘ für die Gebäudetechnik verfügbar. Für jede Fachdisziplin werden speziell entwickelte Werkzeuge angeboten. Im Bereich der Architektur ist Revit „die weltweit am meisten verbreitete BIM-Software“ (HAUSKNECHT & LIEBICH 2015, S. 85)

Auch wenn Autodesk Revit sich vorwiegend an die drei genannten Fachdisziplinen richtet, hat es sich als BIM-Software für den Bereich der Landschaftsarchitektur, speziell die Freiraumplanung, bewährt. In verschiedenen Abschlussarbeiten und Veröffentlichungen der Hochschule Osnabrück werden Workflows für die Modellierung von Freiräumen in Autodesk Revit vorgestellt. (s. Kap. 2.5)

Aus den Aussagen der Landschaftsarchitektin Lauren Schmidt lässt sich ableiten, dass Revit sich grundsätzlich mit einigen Abwandlungen für diese Branche eignet (s. STOCKING 2019). 2016 kritisierte sie in einer Veröffentlichung die eingeschränkten Möglichkeiten von Revit bezüglich der Bearbeitung von Topographie (s. SCHMIDT 2016). Zu diesem Zeitpunkt war die Interoperabilität von Civil 3D und Revit noch nicht gegeben. Seit dem Update 2019.1 ist eben dieses Zusammenspiel zwischen Revit und Civil 3D über die Autodesk Construction Cloud möglich. Somit können bestehende Digitale Geländemodelle in Civil 3D erstellt, bearbeitet und in Revit synchronisiert werden. (s. AUTODESK 2020)

3.1.2.1 Autodesk Construction Cloud

Die Autodesk Construction Cloud (ehemals Autodesk BIM 360) schafft als Plattform (Common Data Environment) eine Verbindung zwischen allen Beteiligten eines BIM-Projekts und fördert und vereinfacht deren Zusammenarbeit. Alle Daten werden hier in Echtzeit gesammelt, organisiert und gemeinsam genutzt. Auf der einen Seite unterstützt sie Workflows, welche innerhalb der Autodesk-Familie über deren verschiedene Softwares wie Revit, Civil 3D, Plant 3D und Navisworks laufen. Andererseits wird auch der openBIM-Workflow gefördert, da anwenderneutrale Formate wie IFC und BCF (BIM Collaboration Format) integriert sein können. Die Construction Cloud enthält diverse Erweiterungen für unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten. Autodesk Docs dient beispielsweise der Baudokumentverwaltung, Autodesk Build ist ein Modul für die Ausführung und das Management von Projekten vor Ort. Autodesk BIM Collaborate und Collaborate Pro dient der Zusammenarbeit und Abstimmung zwischen mehreren Planungsteams, die gemeinsam an der Umsetzung von Ideen für Entwurf und Konstruktion arbeiten. (s. MENSCH UND MASCHINE ACADGRAPH GMBH 2022b).

3.1.2.2 Autodesk Desktop Connector

Über die Installation des Autodesk Desktop Connectors kann eine Verbindung zwischen dem Windows-Desktop und dem Konto der Autodesk Construction Cloud hergestellt werden. Hier können Dateien, auch offline, hochgeladen, heruntergeladen, bearbeitet und gelöscht werden. (s. AUTODESK BIM 360 2023)

3.1.2.3 Plug-in ‚Environment‘

Die Applikation Environment für Autodesk Revit wurde 2019 in seiner ersten Version vom Unternehmen arch-intelligence veröffentlicht. Environment soll eine Erleichterung für Architekt*innen und Landschaftsarchitekt*innen bezüglich des Umgangs mit Geländemodellen schaffen. Hierfür wurden verschiedene Werkzeuge entwickelt, mit denen beispielsweise Architekturmodelle leichter im Gelände platziert werden können. Auch Wände und Geschossdecken sollen leichter an die angrenzende Topographie angepasst werden können. Regelmäßige Updates erweitern den Umfang der Applikation. Environment ist mit den Revit-Versionen 2020, 2021, 2022 und 2023 kompatibel. (s. AUTODESK APP STORE 2022)

3.1.3 Graphisoft ArchiCAD

Version: Archicad 26

Entwickelt wurde die Software ArchiCAD bereits in den 80er Jahren als „erste wirkliche BIM-Software für Architekten“ (HAUSKNECHT & LIEBICH 2015S, 84) von der ungarischen Firma Graphisoft. Mittlerweile gehört Graphisoft wie Vectorworks zur Nemetschek AG. In der Software wurde von Beginn an auf datenbankorientierte Verknüpfungen zwischen dreidimensionalen Geometrien, Materialien und Eigenschaften gesetzt. So war bereits im Gegensatz zu anderer Software eine sich dynamisch anpassende Planableitung möglich. Integriert ist eine Vielzahl von vordefinierten parametrischen Architekturobjekten. Auch eine freie Modellierung parametrischer Bauteile ist durch sogenannte Morph- und Shell-Werkzeuge auf Grundlage der GDL-Technologie möglich. Graphisoft setzt nach wie vor auf Entwicklungen für die Architektur und ist somit für weitere Fachdisziplinen nur eingeschränkt nutzbar. (s. HAUSKNECHT & LIEBICH 2015, S. 84)

3.1.4 Vectorworks

Version: Vectorworks 2022

Die Software Vectorworks (Entwickler: Vectorworks, Teil der Nemetschek AG) ist ursprünglich ein 2D/3D-CAD-Programm, welches unter anderem Module für die Bereiche Architektur, Innenarchitektur und auch Landschaftsarchitektur enthält. Neben der zweidimensionalen zeichnungsorientierten Arbeit, ist es als BIM-fähige Software möglich, mit speziell für die Landschaftsarchitektur entwickelten Werkzeugen geometrische und zugleich parametrische Bauteile zu erstellen. Mit Hilfe der BIM-Funktionen von Vectorworks Landschaft sind alle Modelle und Daten miteinander verbunden, sodass Änderungen automatisch erkannt und übertragen werden. Entsprechende Tools ermöglichen Geländeanalysen, Sonnen- und Schattenstudien oder Kostenschätzungen in der Vorplanung. Auch Vectorworks setzt auf den open-BIM-Prozess und ermöglicht einen herstellernerneutralen Austausch über die IFC-Schnittstelle. (s. COMPUTERWORKS 2022 & HAUSKNECHT & LIEBICH 2015, S. 85)

3.1.5 DATAflor BIMXPRT

Version: DATAflor BIMXPRT 2023, V22

BIMXPRT ist eine speziell für die Landschaftsarchitektur entwickelte BIM-Software der Firma DATAflor. Sie basiert auf der CAD-Software BricsCAD, welche wie Autodesk AutoCAD auf der von der Open Design Alliance stammenden Teigha-Plattform basiert und somit ebenfalls das von Autodesk bekannte DWG-Format schreiben und lesen kann. (s. CADIDA

SOFTWARE 2022) Neben vordefinierten BIM-Bauteilen aus der eigenen Bibliothek, beispielsweise Pflasterflächen inklusive Schichtaufbau, Material, Herstellerangaben etc., stehen diverse 3D-Werkzeuge für die Erstellung eigener Bauteile zur Verfügung. Während des Zeichnens können den 3D-Objekten Eigenschaften und Parameter zugewiesen werden. BIMXPRT unterstützt den open-BIM-Prozess mit seiner IFC-Schnittstelle für den Import und Export von Planungsobjekten. Ebenso liegt das BCF-Format für mögliche Abstimmungen zwischen beteiligten Fachdisziplinen vor. (s. DATAFLOR 2022)

3.2 Zusätzlich verwendete Software

3.2.1 CloudCompare

Version: CloudCompare 2.13alpha

Ursprünglich entstand die Software CloudCompare ab 2003 als Projekt aus der Zusammenarbeit zwischen der französischen Ingenieurschule Télécom ParisTech und der französischen Elektrizitätsgesellschaft Électricité de France SA. Sie ist eine herstellernerneutrale und kostenfreie Software, die zur Ver- und Bearbeitung von 3D-Punktwolken und anderer dreidimensionaler Geometrien (bspw. aus der Dreiecksvermaschung) genutzt werden kann. Die ursprüngliche Idee bestand in der Entwicklung einer Software, die „möglichst schnell und effizient“ (BEERETZ & ROCHER GBR 2022) verschiedene dichte Punktwolken mit großer Punktanzahl (mehr als 10 Mio. Punkte) auf gängigen Standard-Laptops miteinander vergleichen kann. Kurz darauf folgte die Möglichkeit des Vergleichs mit vermaschten Dreiecksnetzen. Mit der Zeit kamen immer mehr Algorithmen zur Punktwolkenverarbeitung und neue Werkzeuge hinzu. Das Programm unterstützt eine Vielzahl an „gängigen Punktwolken- und Mesh-Dateiformate[n], Polylinien (.shp/.dxf) sowie Agisoft-Projektdateien (.psz). (s. BEERETZ & ROCHER GBR 2022 & CLOUDCOMPARE 2016)

3.2.2 FZKViewer

Version: FZKViewer 6.4 (Build 2315)

Der frei zum Download verfügbare FZK-Viewer des Karlsruher Instituts für Technologie ist eine Software zur Visualisierung von semantischen BIM- und GIS-Datenmodellen. Der Viewer richtet sich insbesondere an offene standardisierte Datenformate wie IFC. Neben der graphischen Darstellung des 3D-Modells können auch Eigenschaften und Beziehungen zwischen den einzelnen Objekten angezeigt werden. Zudem können verschiedene Auswertungen von Daten vorgenommen werden. (s. KIT 2022)

3.3 Datengrundlage

Als Datengrundlage liegen dieser Arbeit drei Teilausschnitte des Botanischen Gartens Osnabrück als dichte Punktwolken mit einem Punktabstand von 0,1 m vor. Die Rohdaten wurden 2019 innerhalb des Moduls ‚Vermessung – Vertiefung‘ im Bachelorstudiengang ‚Landschaftsbau‘ der Hochschule Osnabrück unter Leitung von Prof. Dr. Stefan Taeger mittels drei Drohnenbefliegungen des Botanischen Gartens erhoben und in die Software AgiSoft Metashape Professional überführt. Diese Punktwolken müssen zu Beginn des Praxisteils dieser Arbeit in der Software CloudCompare zusammengefügt werden. Nach diesen Schritten ist es möglich, ein geeignetes Areal des Geländes für die vergleichende Untersuchung der BIM-Softwares auszuwählen. Dieser Ausschnitt wird folglich aus der Gesamtpunktwolke ausgeschnitten, bereinigt und in den zwei Formaten .txt und .las exportiert.

3.4 Hardwareausstattung

Prozessor: Intel Xeon Prozessor W-2295 (18C 3,0 GHz 4,8 GHz Turbo HT 24,75 MB 165 W DDR4 – 2.933 MHz)

RAM: 64GB (4x16GB) 2666MHz DDR4 RDIMM ECC memory

Grafikkarte: Nvidia Quadro RTX5000, 16GB, 4DP, VirtualLink (XX20T)

Festplatten: SSD 1 TB, 3,5-Zoll-SATA-Festplattenlaufwerk, 2 TB, 7.200 1/min

3.5 Methodisches Vorgehen

3.5.1 Einordnung des Digitalen Geländemodells in den BIM-Kontext

Methodisch wird zunächst eine Anforderungsanalyse durchgeführt. In dieser wird das Digitale Geländemodell als Bestandteil der Grundlagenermittlung in den Kontext von Building Information Modeling eingeordnet. Dazu werden Richtlinien und Leitfäden für BIM in der Infrastrukturplanung analysiert. Es wird herausgearbeitet, inwiefern das Digitale Geländemodell hier bereits aufgegriffen und eingeordnet wird. Zusätzlich werden Angaben zum Umgang mit Koordinatensystemen im BIM-Prozess herausgefiltert.

3.5.2 Theoretische Entwicklung des Workflows

Basierend auf den vorgestellten theoretischen Grundlagen und der Anforderungsanalyse im vierten Kapitel werden zwei Grafiken für den anzuwendenden Workflow entwickelt. Die erste Grafik soll den gesamten BIM-Workflow dieser Arbeit von der Bestandserfassung über

die Aufbereitung der Daten bis hin zur Weitergabe und Weiterbearbeitung veranschaulichen. Auch die verwendete Software und ein Vorschlag zur Benennung von Fachmodellen sollen in diese Grafik integriert werden.

Auf Grund der Anwendung und des Vergleichs verschiedener BIM-Softwares und verschiedener Werkzeuge innerhalb der Softwares soll eine zweite Grafik einen detaillierteren Überblick zur Erstellung der Digitalen Geländemodelle auf Basis der zuvor erstellten Punktedateien geben.

3.5.3 Anwendung des Workflows

Die Anwendung des Workflows startet mit einem Exkurs zum Thema der Übernahme von Bruchkanten aus IFC-Dateien in den verwendeten BIM-Softwares. Es soll getestet werden, ob alle in dieser Arbeit verwendeten Programme Bruchkanten aus IFC erkennen und korrekt darstellen können. In Fachgesprächen ergaben sich in der Vergangenheit immer wieder Diskussionen zu dieser Thematik. Gerade in Autodesk Revit scheint man sich im Unklaren zu sein, ob Bruchkanten übernommen werden. Nach diesem Exkurs beginnt die Umsetzung des aufgestellten Workflows. Zunächst wird beispielhaft für Niedersachsen dargestellt, wie Grundlagendaten der Vermessungsämter, die als ‚Open Data‘ vorliegen, bezogen und für die Weiterverwendung in BIM-Softwares aufbereitet werden können. Die Daten werden vom Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen zur Verfügung gestellt. Es folgt die Vorbereitung der vorliegenden Punktwolken des Botanischen Gartens Osnabrücks in der Software CloudCompare. Hier werden die drei Punktwolken importiert, zusammengesetzt, ein Ausschnitt erstellt und sowohl manuell als auch mit einem integrierten Algorithmus bereinigt. Dieser bereinigte Punktwolkenausschnitt wird in zwei Formaten für die Erstellung der Geländemodelle exportiert. Es folgt die praktische Erstellung und Erläuterung von neun Geländemodellen in fünf unterschiedlichen BIM-Softwares. Das Kapitel schließt mit der Anwendung verschiedener Werkzeuge aus dem Plug-in ‚Environment‘ für Geländemodelle in Autodesk Revit.

3.5.4 Erstellung von Triangulierten Mengenmodellen und Höhenplänen

Die erzeugten Geländemodelle werden in diesem Kapitel als Grundlage für die Erstellung von Triangulierten Mengenmodellen und Höhenplänen genutzt. Die Triangulierten Mengenmodelle stellen mit ihren Höhenpunkten die exakte Differenz zwischen zwei Geländemodellen dar. Zusätzlich zum Mengenmodell wird eine Statistik mit Abtrags- und Auftragsmen-

gen abgeleitet. Aus diesen Zahlen kann im Folgenden ein erster Vergleich der Geländemodelle stattfinden. Als zweites Instrument werden Höhenpläne anhand von abgeleiteten Längsschnitten erstellt. Mittels der Längsschnitte können nachfolgend Bereiche identifiziert werden, in denen ein signifikanter Unterschied zwischen den Geländemodellen vorliegt. Auch hier werden Abtrags- und Auftragsmengen durch Schraffuren dargestellt.

4 EINORDNUNG DES DIGITALEN GELÄNDEMDELLS IN DEN BIM-KONTEXT

Ziel dieser Dokumentenanalyse aktueller Richtlinien und Leitfäden ist die Einordnung des Digitalen Geländemodells in den BIM Kontext. Im ersten Schritt wird untersucht, wie das Digitale Geländemodell im Zuge der Grundlagenermittlung in diesen Texten eingeordnet wird und welche Fachmodelle für die Bestandserfassung vorgeschlagen werden. Darauf folgt die Analyse bezüglich bereits niedergeschriebener Anforderungen an das Digitale Geländemodell als maßgebende Grundlage für den weiteren Planungsprozess. Abschließend wird das eng mit dem DGM verknüpfte Thema der Georeferenzierung und deren Handhabung im BIM-Prozess betrachtet. Da für den Bereich der Freiraumplanung noch keine Richtlinien und Leitfäden zur Verfügung stehen, werden die für BIM im Allgemeinen geltenden BIM-Richtlinien des VDIs und Leitfäden aus der Infrastrukturplanung untersucht. Der Themenbereich der Bestandserfassung bietet inhaltliche Überschneidungen, sodass sich die Ergebnisse auf die Freiraumplanung übertragen lassen.

4.1 Richtlinienreihe VDI 2552 „Building Information Modeling (BIM)“

4.1.1 Fachmodelle

Die Richtlinienreihe VDI 2552 richtet sich an alle Beteiligten eines BIM-Prozesses und bietet grundlegende Informationen zur BIM-Thematik, unabhängig von der jeweiligen Fachdisziplin (s. VDI 2022). Blatt 4 der VDI Richtlinien 2552 behandelt das Thema „Anforderungen an den Datenaustausch“. Im sechsten Kapitel werden die verschiedenen Modellarten und auch Vorschläge für zu verwendende Fachmodelle definiert. Im Kapitel ‚6.2 Fachmodelle‘ werden in Tabelle 5 Fachmodelle für den Hochbau vorgeschlagen (s. Tab. 2). Das erste Fachmodell ‚Vermessung‘ beinhaltet dabei die Grundlagen, die Georeferenz und das Geländemodell. Die Modellinhalte können ggf. als Teilmodelle des Fachmodells ausgeführt werden. Die Fachmodelle und deren Inhalte werden im Dokument nicht weiter spezifiziert. (s. VDI 2020, S. 16 ff.)

Tabelle 2: Fachmodelle der Richtlinienreihe VDI 2552. VDI (2020).

Fachmodell	Modellinhalte (gegebenenfalls als Teilmodelle)
Vermessung	Grundlagen Georeferenz Geländemodell
Architektur	Baugrube Rohbau Fassade Tragwerk Ausbau
Technische Gebäudeausrüstung (TGA)	Abwasser-, Wasser- und Gasanlagen Wärmeversorgungsanlagen lufttechnische Anlagen Starkstromanlage Fernmeldeanlagen Förderanlagen nutzungsspezifische und verfahrensspezifische Anlagen Gebäudeautomation
Tragwerksplanung	Tragwerksbemessung Bewehrung Schalung Baugrube/Verbau

Neben den Fachmodellen wird ein sogenanntes Bestandsmodell definiert. Dieses gilt als „Grundlage für die weitere Bearbeitung“ (VDI 2020, S. 19). Es kann Inhalte verschiedener Fachdisziplinen enthalten. Dazu zählen unter anderem die 3D-Laserscans, manuelle Aufmaße oder Informationen aus 2D-Plänen. (s. VDI 2020, S. 19)

4.1.2 Georeferenzierung

Zum Thema Koordinatensystem ist unter Punkt 7 ‚Allgemeingültige Modellinhalte‘ definiert, dass jedes Modell „Informationen zum verwendeten Koordinatensystem einschließlich des geodätischen Bezugssystems und des Höhendatums aufweisen [muss]“ (VDI 2020, S. 20). Bereits in das sogenannte „Grundlagenmodell“, welches als Projektvorlage für alle weiteren Fachmodelle betrachtet werden kann, „fließen alle [...] georeferenzierten Erkenntnisse für das Projekt [...] ein“ (VDI 2020, S. 15). Dazu gehören Angaben zu den lokalen Projektkoordinaten inklusive Projektnullpunkt. Es soll der Bezug zwischen Grundlagenmodell zu genutzten Koordinatensystemen der Vermessung hergestellt werden können. Die Georeferenzierung muss nachvollziehbar sein. In den Modellierungsrichtlinien unter Punkt 8 werden umfangreiche Angaben zum Koordinatensystem gegeben. Danach ist das Koordinatensystem bereits zu Projektbeginn zu vereinbaren und zu dokumentieren. Mögliche Abweichungen dürfen nicht ohne Grund und ohne Genehmigung aller Projektbeteiligten stattfinden. Die Lage des Koordinatensystems muss über mindestens zwei Koordinatenpunkte definiert sein. Bei der Überführung von lokalen zu geodätischen Koordinaten muss auf die „korrekte

Anwendung der geodätischen Transformation“ (VDI 2020, S. 23) geachtet werden. Ebenso werden Angaben zur Koordinatenursprungsmarkierung gemacht. (s. VDI 2020)

4.2 BIM4INFRA2020

4.2.1 Anwendungsfälle und Fachmodelle

In Teil 6 der Handreichungen und Leitfäden der ARGE BIM4INFRA2020 werden unter dem Titel „Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle“ „wesentliche Informationen in zusammengefasster Form zu den aus der Sicht der ARGE BIM4INFRA2020 wichtigsten BIM-Anwendungsfälle [beschrieben]“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019c, S. 5). Sie sollen als Empfehlung zur Standardisierung betrachtet werden und je nach Projektziel angepasst und konkretisiert werden. (ARGE BIM4INFRA2020 2019c, S. 5)

Der ‚Anwendungsfall 1 – Bestandserfassung‘ wird den Leistungsphasen 1 und 2 der HOAI zugeordnet und definiert die „Erfassung der wesentlichen Aspekte des Bestandes durch ein geeignetes Aufmaß und Überführung in ein Bestandsmodell“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019c, S. 10). Dafür geeignete Daten können aus verschiedenen Quellen wie „vorhandenen Plänen, Geoinformationssystemen [und] geodätischen Erfassungen [stammen]“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019c, S. 10). Der Anwendungsfall sieht vor, dass Modelle „zunächst eher vereinfacht erstellt [werden]“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019c, S. 10) und im weiteren Verlauf des Projekts eine „weitere Detaillierung“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019c, S. 10) möglich ist.

In Teil 7 der Handreichungen und Leitfäden werden Fachmodelle und deren Ausarbeitungsgrade vorgestellt. In Kapitel 2.1 wird eine Übersicht zu bereits genutzten Fachmodellen in den verschiedenen Pilotprojekten aufgeführt. Neben den Fachmodellen der verschiedenen Gewerke werden „Übergeordnete Fachmodelle“ vorgelagert (s. Tab. 3). Dazu zählt die Kategorie „Planungsgrundlage“. Diese enthält die Fachmodelle „Bestandsmodell (Bauwerk)“, „Digitales Geländemodell“, „Baugrundmodell“ und „Umgebungs-, Bebauungs- und Umweltmodell“ (s. ARGE BIM4INFRA2020 2019d, S. 7).

Tabelle 3: Übergeordnete Fachmodelle der ARGE BIM4INFRA2020. ARGE BIM4INFRA2020 (2019d)

Übergeordnete Fachmodelle	
Planungsgrundlage	Bestandsmodell (Bauwerk)
	Digitales Geländemodell
	Baugrundmodell
	Umgebungs-, Bebauungs-, Umweltmodell
Planung	Trassierungsmodell
	Verkehrsmodell

Folgend werden die einzelnen Fachmodelle näher erläutert. „Das Bestandsmodell bildet den baulichen Bestand ab und ist die Planungsgrundlage für Bauprojekte“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019d, S. 9). Es basiert auf verschiedenen vorhandenen Daten wie 2/2,5-CAD-Unterlagen, 3D-Modellen, GIS-Daten etc. Das „Digitale Geländemodell“ zählt ebenfalls zu den Bestandsmodellen. Es kann für sich stehen oder „in einem umfassenden Bestandsmodell integriert sein“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019d, S. 9). Es wird zumeist als „trianguliertes Flächennetz“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019d, S. 9) beschrieben, das sich der realen Oberfläche annähert. Hier wird auch das Thema der Genauigkeit aufgegriffen. Dafür werden das DGM betreffend entsprechende „Gitterweiten und Höhengenaugigkeiten angegeben“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019d, S. 9). Diese unterscheiden sich je nach Anwendungsfall und/oder Planungsphase. Als Beispiel wird für eine Trassenfindung ein DGM 10 eingefordert. Weiter heißt es, dass für eine Entwurfsplanung „eine höhere Genauigkeit und eine geringere Rasterweite“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019d, S. 9) notwendig sind. Das „Umgebungs-, Bebauungs- und Umweltmodell“ enthält Informationen, die sich aus Geodaten ableiten lassen. (s. ARGE BIM4INFRA2020 2019d, S. 7 ff.)

Im zweiten Teil der Handreichungen wird ein Muster-AIA vorgestellt. Dabei wird unter der Überschrift „Bereitgestellte digitale Grundlagen“ näher auf das Digitale Geländemodell eingegangen. Als Grundlage wird demnach ein DGM 1 der Landesvermessung mit 1 m Gitterweite und einer Genauigkeit von +/- 0,2 m festgelegt. Um das entsprechende Bestandsobjekt (Brücke) wird ein „Offset von 50 m“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019a, S. 24) erfasst.

4.2.2 Georeferenzierung

In den Muster-AIA wird unter der Überschrift „Koordinatensysteme“ vorgestellt, welche Angaben hier diesbezüglich festgeschrieben werden. Dazu zählen der Projektnullpunkt,

angegeben durch einen Würfel, die Nordrichtung und die Festlegung des führenden Koordinatensystems. So soll sichergestellt werden, dass alle Modelle „lagerichtig sind und im gleichen geodätischen Bezugssystem modelliert werden“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019a, S. 15). Die Festsetzung wird in folgender Tabellenform (s. Tab. 4) empfohlen:

Tabelle 4: Empfohlene Festsetzungen zur Georeferenzierung. ARGE BIM4INFRA2020 (2019a).

Koordinatensystem			
Höhensystem			
Projektnullpunkt in Weltkoordinaten	Ostwert / Rechtswert [x]	Nordwert / Hochwert [y]	Höhe [z]

4.3 DEGES

4.3.1 Anwendungsfälle und Fachmodelle

In seinem ergänzenden Dokument zum BIM-Leitfaden ‚BIM-Anwendungsfälle‘ führt die DEGES zwei Anwendungsfälle auf, die sich dem Thema Grundlagenermittlung zuordnen lassen. Der Anwendungsfall ‚Darstellung der Umgebungssituation‘ umfasst „das Erfassen wesentlicher Aspekte des Bestandes durch geeignete Grundlagendaten der Länder sowie deren Überführung in eine 3D Ansicht“ (DEGES 2022a, S. 7). Daten können aus „bestehenden Unterlagen zu Bauwerken, Vermessungen, Aufmaßen [und] Baugrunddaten“ (DEGES 2022a, S. 7) bezogen werden. Für diesen Anwendungsfall wird die Erstellung mehrerer Fachmodelle wie ‚Gebäude‘ oder ‚Schutzgebiete der Umwelt‘ vorgeschlagen. Der Anwendungsfall soll die „Bestandssituation inner- und außerhalb der Planungsgrenzen“ (DEGES 2022a, S. 7) und den „Einfluss der geplanten Baumaßnahme auf vorhandene Schutzgüter“ (DEGES 2022a, S. 7) enthalten.

Es wird darauf verwiesen, dass Angaben zu den erforderlichen Grundlagendaten in der AIA beschrieben werden (s. DEGES 2022b, S. 7).

Der zweite Anwendungsfall ‚Darstellung des Bestandes‘ enthält die „detaillierte Modellierung der Bestandssituation und deren Überführung in ein 3D Modell“ (DEGES 2022a, S. 7). Dazu zählt die „Erfassung aller baulichen, technischen und schutzwürdigen Anlagen sowie Flächen auf und entlang der Verkehrsanlage“ (DEGES 2022a, S. 7). Auch hier wird das Anlegen mehrerer Fachmodelle wie ‚Strecke‘ oder ‚Brücke‘ vorgeschlagen. Alle Objekte

abgesehen von der Flächenplanung sind als 3D Volumenkörper dazustellen und sollen „die beauftragte Vermessung ergänzen“ (DEGES 2022a, S. 7). Im Gegensatz zum ersten Anwendungsfall bezieht sich die Darstellung hier auf die Bestandssituation innerhalb der Planungsgrenzen und wieder auf den „Einfluss der geplanten Baumaßnahme auf vorhandene Schutzgüter“ (DEGES 2022a, S. 7).

In dem zugehörigen Dokument ‚BIM-Auftraggeber-Informations-Anforderungen (AIA)‘ werden mögliche Inhalte der vorgeschlagenen Fachmodelle aufgelistet (s. DEGES 2022b, S. 20). Dazu gehören für das Fachmodell ‚Umgebung‘ beispielsweise GIS-Daten, DGM, LandXML, CityGNL etc.. Bezüglich der Genauigkeit eines Geländemodells für das Fachmodell ‚Umgebung‘ wird als ‚Input‘ ein DGM 5 vorgeschlagen. Für das Fachmodell ‚Bestand‘ heißt es: „Die Granularität (LOD) des Modells wird in Absprache mit dem AG festgelegt“ (DEGES 2022b, S. 20). Hier werden als ‚Input‘ Punktdaten, Punktwolken und Bestandsunterlagen genannt.

4.3.2 Georeferenzierung

In dem AIA-Dokument wird im Kapitel 7 ‚Modellierungsrichtlinien und Datenanforderungen‘ auf das Thema Koordinatensystem und Einheiten eingegangen. Danach muss ein Bezugssystem der Lage und Höhe für alle georeferenzierten Daten festgesetzt werden. Bei der Nutzung eines lokalen Koordinatensystems „muss dieses in Bezug zum globalen Lage- und Höhensystem stehen“ (DEGES 2022b, S. 18). Die entsprechenden Transformationsparameter müssen definiert und allen Projektbeteiligten vorliegen. (s. DEGES 2022b, S. 17 f.)

4.4 Masterplan BIM-Bundesfernstraßen

Es ist anzumerken, dass der ‚Masterplan BIM-Bundesfernstraßen‘ inhaltlich an die Empfehlungen der BIM4INFRA2020 anknüpft und als eine Weiterentwicklung derer zu betrachten ist. (s. BMVI 2021a)

4.4.1 Anwendungsfälle und Fachmodelle

Für den ‚Masterplan BIM-Bundesfernstraßen‘ werden die Rahmendokumente ‚Steckbriefe der Anwendungsfälle – Version 1.0‘ (BMVI 2021b), ‚Definition der Fachmodelle – Version 1.0‘ (BMVI 2021c) und ‚Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) – Version 1.0‘ (BMVI 2021d) näher untersucht.

Zu den vorgestellten Steckbriefen gehört der Anwendungsfall ‚Bestandserfassung und -modellierung‘, welcher den Leistungsphasen 1 und 2 gemäß der HOAI und dem Betrieb zugeordnet wird. Ziel ist die Erstellung eines Bestandsmodells, umgesetzt in Form eines Fachmodells ‚Bestand‘, das alle notwendigen Informationen zur Bestandssituation enthält. Zu den Inputs zählen: Geländemodell, 3D-Stadtmodell, Bestandspläne, Vermessungsdaten, Geobasisdaten etc. (s. BMVI 2021b, S. 12 ff.)

In dem ‚Rahmendokument: Definition der Fachmodelle – Version 1.0‘ (BMVI 2021c) wird dieses Fachmodell allerdings nicht wieder aufgegriffen und weiter ausgeführt. Stattdessen werden die Fachmodelle ‚Umgebung‘ und ‚Vermessung‘ eingeführt und definiert, die wiederum in dem ‚Rahmendokument – Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) – Version 1‘ (BMVI 2021d) als Teilmodelle des Fachmodells ‚Bestand‘ gelten. Es wird darauf hingewiesen, dass eine inkonsequente Nutzung der Begrifflichkeiten ‚Bestandsmodell‘, ‚Fachmodell‘ und ‚Teilmodell‘ innerhalb der Dokumente vorliegt.

Das Fachmodell ‚Umgebung‘ beinhaltet „generelle Informationen bzw. die bestehende Umgebungssituation des Bauprojekts, wie beispielsweise Gelände, städtebauliche Gegebenheiten oder Katasterdaten“ (BMVI 2021c, S. 11). Als mögliche Teilmodelle werden „Digitales Geländemodell (DGM), Stadtmodell, Digitale Orthofotos (DOP), Amtliche Liegenschaftskataster (ALKIS) etc.“ (BMVI 2021c, S. 11) aufgeführt. Die Eingangsdaten sollen hiernach aus den Geoportalen der Bundesländer stammen. (s. BMVI 2021c, S.11).

Das Fachmodell ‚Vermessung‘ enthält die nötigen Daten zur „Ableitung des Ist-Zustands“ (BMVI 2021c, S. 12). Dazu zählen Aufmaße der Bauwerksstrukturen, der Umgebung und des Geländes. Die Teilmodelle der Vermessung sollen als Grundlage für alle weiteren Fachmodelle dienen. Bezüglich des Detaillierungsgrades wird auf eine Absprache zwischen AG und Vermessungsingenieur*in verwiesen, aber keine weiteren Hinweise gegeben.

In den beispielhaften AIA wird unter dem Punkt 3 ‚Bereitgestellte Grundlagen‘ ein DGM 1 mit einer Gitterweite von 1 m und einer Genauigkeit von +/- 0,2 m aufgeführt. Da im Weiteren von einem extra aufgenommenen ‚Bestands-DGM‘ gesprochen wird, ist davon auszugehen, dass das DGM 1 für das Fachmodell ‚Umgebung‘ und das Bestands-DGM für das Fachmodell ‚Vermessung‘ vorgesehen ist. (s. BMVI 2021d, S. 58)

4.4.2 Georeferenzierung

Die Angaben zur Georeferenzierung im ‚Rahmendokument: Auftraggeber-Informationen (AIA) Version 1.0‘ stimmen mit denen der ARGE BIM4INFRA überein. (s. BMVI 2021d, S. 41 & ARGE BIM4INFRA2020 2019a, S. 15)

4.5 Übersicht

Tabelle 5: Zusammenfassende Darstellung der Dokumentenanalyse. EIGENE DARSTELLUNG.

Dokument	Anwendungsfälle	Fachmodelle	Georeferenzierung
Richtlinienreihe VDI 2552	-	‚Vermessung‘ <ul style="list-style-type: none"> - Grundlagen - Georeferenz - Geländemodell ‚Bestandsmodell‘ verschiedener Gewerke (nicht Fachmodell) <ul style="list-style-type: none"> - 3D-Laserscans - Manuelle Aufmaße - 2D-Pläne 	<ul style="list-style-type: none"> - Koordinatensystem inklusive geodätischem Bezugssystem und Höhen datum - Integration in das ‚Grundlagenmodell‘ - Lokale Projektkoordinaten mit Projekt nullpunkt als Nullpunktkörperbauteil
BIM4INFRA2020	AF 1 ‚Bestandserfassung‘	‚Bestandsmodell‘ <ul style="list-style-type: none"> - 2D/2,5D CAD-Unterlagen - 3D-Modelle - GIS-Daten ‚Digitales Geländemodell‘ <ul style="list-style-type: none"> - Gitterweite und Genauigkeit entsprechend AF oder Planungsphase 	<ul style="list-style-type: none"> - Projekt nullpunkt - Nordrichtung - Koordinatensystem - Höhensystem - Projekt nullpunkt in Weltkoordinaten
DEGES	AF ‚Darstellung der Umgebungssituation‘ AF ‚Darstellung des Bestandes‘	FM ‚Umgebung‘ <ul style="list-style-type: none"> - GIS-Daten - DGM 5 - LandXML - CityGNL 	<ul style="list-style-type: none"> - Bezugssystem der Lage und Höhe für georeferenzierte Daten - Lokales Koordinatensystem → Definition von Transformationsparametern

<p>Masterplan BIM-Bundes- fernstraßen</p>	<p>AF ‚Bestandserfassung und Modellierung‘</p>	<p>FM ‚Umgebung‘</p> <ul style="list-style-type: none"> - DGM 1 - Stadtmodell - DOP - ALKIS <p>FM ‚Vermessung‘</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufmaß Bauwerk - Aufmaß Umgebung - Aufmaß Gelände 	<ul style="list-style-type: none"> - Projektnullpunkt - Nordrichtung - Koordinatensystem - Höhensystem - Projektnullpunkt in Weltkoordinaten
--	--	--	---

5 THEORETISCHE ENTWICKLUNG DES WORKFLOWS

Aus der durchgeführten Dokumentenanalyse lassen sich einige Überschneidungen und Ähnlichkeiten feststellen. Generell lässt sich festhalten, dass alle Texte zwischen Modellinhalten aus Bestandsdaten von den Vermessungsämtern und Bestandsdaten aus der Ingenieurvermessung unterscheiden. Bestandsdaten aus den Vermessungsämtern werden bei den VDI Richtlinien 2552 nicht aufgegriffen. Das bei der ARGE BIM4INFRA2020 beschriebene ‚Umgebungs-, Bebauungs- und Umweltmodell‘ entspricht inhaltlich den Fachmodellen ‚Umgebung‘ der DEGES und des BMVI. Alle drei Dokumente sehen als Inhalt generelle Informationen zur Umgebungssituation vor, welche aus bezogenen Geodaten der Vermessungsämter abgeleitet werden. Das Digitale Geländemodell ist als Bestandteil des Umgebungsmodells bei der ARGE BIM4INFRA und dem BMVI ein DGM1 mit einer Gitterweite von 1 m und einer Genauigkeit von +/- 0,2 m vorgesehen. Die DEGES schlägt als zur Verfügung gestellte Grundlagendatei ein DGM5 vor.

Demgegenüber stehen die Bestandsdaten aus der Ingenieurvermessung. Für die Zuordnung zu einem Modell muss festgehalten werden, dass die inhaltliche Unterscheidung von Bestandsmodell und Fachmodell nach den VDI Richtlinien 2552 Blatt 4 nicht immer eindeutig ist. Klar wird jedoch die Gemeinsamkeit der Erstellung eines eigenen Modells für die Ingenieurvermessung. In den VDI Richtlinien 2552 und im Masterplan BIM Bundesfernstraßen wird das Fachmodell jeweils als ‚Vermessung‘ benannt. BIM4INFRA2020 und die DEGES sprechen von ‚Bestand‘. Um keine Missverständnisse bezüglich des Bestandsmodells und des Fachmodells aufkommen zu lassen wird vorgeschlagen, das Fachmodell als Fachmodell ‚Vermessung‘ zu bezeichnen. Die Inhalte des Fachmodells können in ein Bestandsmodell nach den VDI Richtlinien 2552 einfließen. Bezüglich der Genauigkeit einer Vermessung wird jeweils auf den spezifischen Anwendungsfall und die Absprache mit dem Auftraggeber verwiesen.

Das Thema der Georeferenzierung wird in allen Dokumenten aufgegriffen. Es wird deutlich, dass die Nutzung eines einheitlichen Koordinaten- und Höhensystems bereits zu Beginn eines Projekts festzulegen und schriftlich festzuhalten ist. Alle Informationen müssen jedem Projektbeteiligten jederzeit zur Verfügung stehen. Auch die Nutzung eines lokalen Koordinatensystems wird in allen Texten angesprochen. Dabei müssen mögliche Angaben zur Transformation beachtet und ebenfalls schriftlich definiert werden. Es wird deutlich, dass die Thematik der Georeferenzierung nicht zu vernachlässigen ist und bereits zu Beginn des Projekts eindeutige Absprachen getroffen und formuliert werden müssen.

Aus den Themengrundlagen geht hervor, dass es zwei mögliche Wege gibt, Bestandsdaten für die Freiraumplanung zu beziehen. Einerseits sind die Vermessungsämter der Bundesländer ein erster Anlaufpunkt für das Beziehen von 3D-Geobasisdaten. Sie stellen Produkte wie Digitale Geländemodelle in unterschiedlichen Gitterweiten, 3D-Stadtmodelle und Liegenschaftsinformationen zur Verfügung. Für diese Arbeit werden ein 3D-Gebäudemodell (LOD 2) und die Flurgrenzen des Projektgebietes bezogen. Diese Daten werden entsprechend der Dokumentenanalyse einem Fachmodell ‚Umgebung‘ zugeordnet. Die bezogenen Daten werden in der Software Autodesk Civil 3D für eine Weiternutzung aufbereitet. Demgegenüber stehen die Daten aus der Ingenieurvermessung. Bei den Methoden zur Aufnahme von Vermessungspunkten wird zwischen den luftgestützten und den terrestrischen Methoden unterschieden. Zu den luftgestützten Methoden zählen die Photogrammetrie und das 3D-Laserscanning. Zu den terrestrischen Methoden gehören das elektronische Handaufmaß und die Tachymetrie. Bei der Methode der Photogrammetrie muss die Punktwolke über die aufgenommenen Fotos der Drohne mit einer entsprechenden Software entwickelt werden.

Für eine geeignete Weiterverarbeitung in der BIM-Software muss die Punktwolkendichte reduziert und ein geeignetes Projektgebiet ausgewählt werden. Zusätzlich muss die Punktwolke bereinigt werden, das heißt, dass unerwünschter Bewuchs entfernt werden muss. Hierfür wird CloudCompare verwendet. Dafür werden in dieser Arbeit zwei Möglichkeiten getestet. Zum einen wird ein Algorithmus für die Selektion von Bodenpunkten angewandt und bewertet, zum anderen wird der Weg der manuellen Bearbeitung - ebenfalls in CloudCompare - aufgezeigt. Als Endprodukt wird die vorbereitete Punktwolke in die Dateiformate exportiert, welche die BIM-Softwares als Grundlage für die Erstellung von Geländemodellen benötigen.

Der nächste Schritt sieht die Erstellung der Digitalen Geländemodelle in den verschiedenen BIM-Softwares auf Basis derselben Punktwolkengrundlage vor. Das Digitale Geländemodell wird entsprechend den Schlussfolgerungen aus der Dokumentenanalyse dem Fachmodell ‚Vermessung‘ zugeordnet.

Der Workflow in den verschiedenen Programmen wird in Abbildung 19 detaillierter gezeigt. Das in Autodesk Civil 3D generierte Geländemodell dient als Grundlage für den Vergleich der Modelle. Alle erstellten Geländemodelle werden aus ihrer spezifischen Software im DWG-Format exportiert. So ist es möglich, diese in Civil 3D zu importieren. Für den anstehenden Vergleich der Modelle werden zwei Analysewerkzeuge in Civil 3D verwendet. Zum einen wird für jedes Geländemodell in Verbindung mit dem Vergleichsmodell aus Civil 3D

ein sogenanntes ‚Trianguliertes Mengenmodell‘ erstellt. Die daraus resultierende Statistik zeigt die zwischen den zwei Modellen entstehenden Abtrags- und Auftragsmengen an. Diese können als erster Anhaltspunkt bewertet werden. Zum anderen werden Längsschnitte durch die Modelle erstellt. Diese Längsschnitte können vergleichsweise in einem Höhenplan dargestellt werden. Anhand der Schnitte werden auch die Bereiche von Abtrag und Auftrag angezeigt. Hier kann detaillierter analysiert werden, welche Bereiche von Mengenunterschieden betroffen sind. Alle Ergebnisse werden miteinander abgeglichen und bewertet.

In einem letzten Anwendungsschritt wird das Fachmodell ‚Freiraumplanung‘ erstellt. Hier werden Werkzeuge zur Bearbeitung des Digitalen Geländemodells getestet und bewertet. Auf Grund des Umfangs der Arbeit wird sich auf die Software Autodesk Revit als gelehrte BIM-Software für die Landschaftsarchitektur an der Hochschule Osnabrück beschränkt. Es wird die Applikation Environment untersucht, welche vielseitige Möglichkeiten zur erleichterten Arbeit mit Topographie in Autodesk Revit verspricht. Abbildung 18 veranschaulicht grafisch den gesamten Workflow von der Bestandsdatenerfassung über die Aufbereitung und deren Weitergabe für die folgenden Leistungsphasen in BIM.

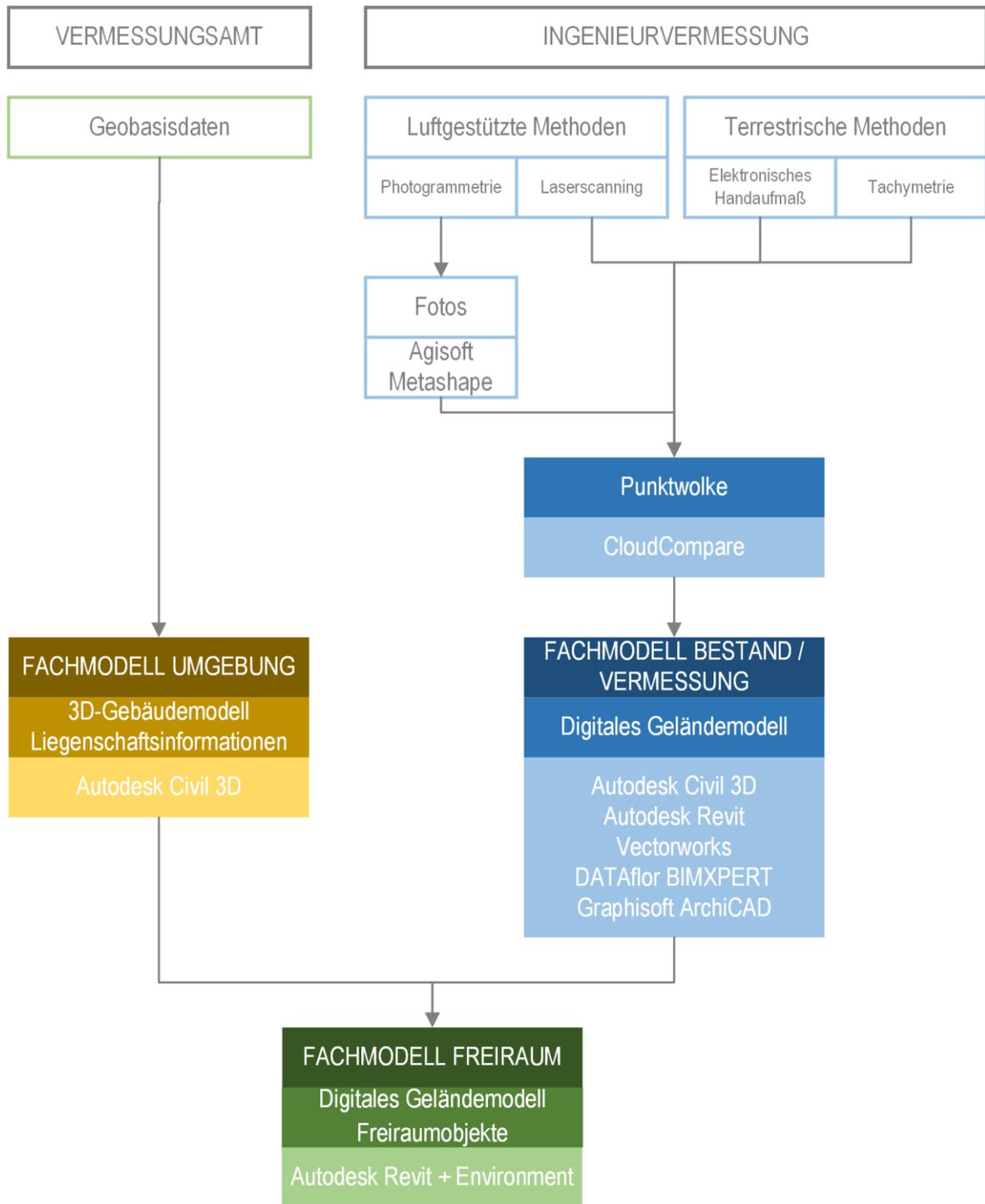


Abbildung 18: Workflow – Übersicht. EIGENE DARSTELLUNG.

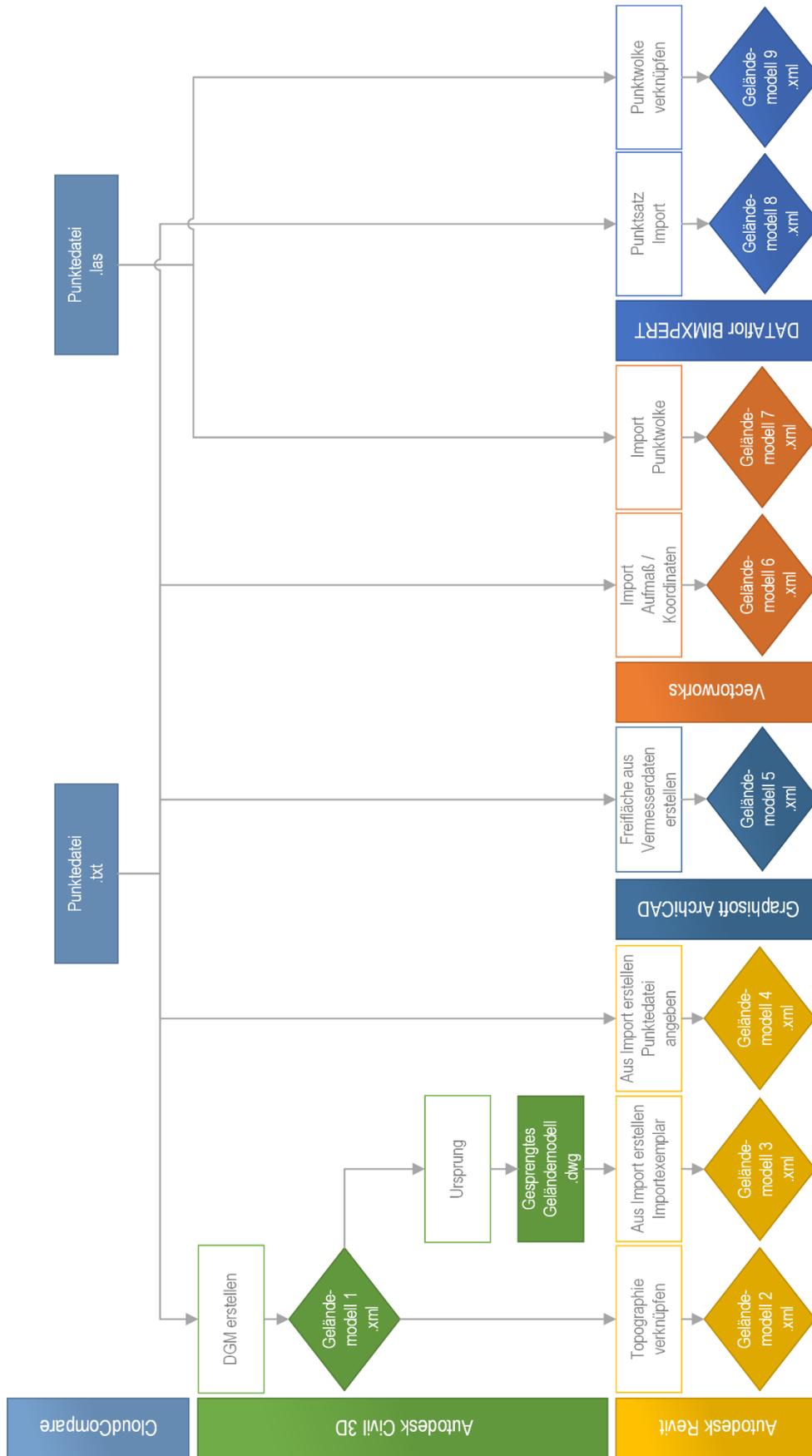


Abbildung 19: Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

6 ANWENDUNG DES WORKFLOWS

6.1 Exkurs: Übernahme von Bruchkanten

In diesem Kapitel wird getestet, ob alle in dieser Arbeit genutzten BIM-Programme fähig sind, Bruchkanten innerhalb einer Geländemodell-IFC-Datei zu erkennen und zu übernehmen. Besonders bei Autodesk Revit stellt sich die Frage, da es in dieser Software nicht möglich ist, eigenständig Bruchkanten zu definieren. In der Vorbereitung für den Test wird ein Geländemodell mit geringer Datengröße und Punkten in Vectorworks erstellt und eine Bruchkante definiert. Anschließend wird das bearbeitete Geländemodell in IFC überführt.

In Abbildung 20 ist das Geländemodell in Vectorworks im ‚Ist-Zustand‘ zu sehen. Die rote Linie in der Mitte der Abbildung stellt eine über den Geländemodifikator hinzugefügte Bruchkante als Linie dar.

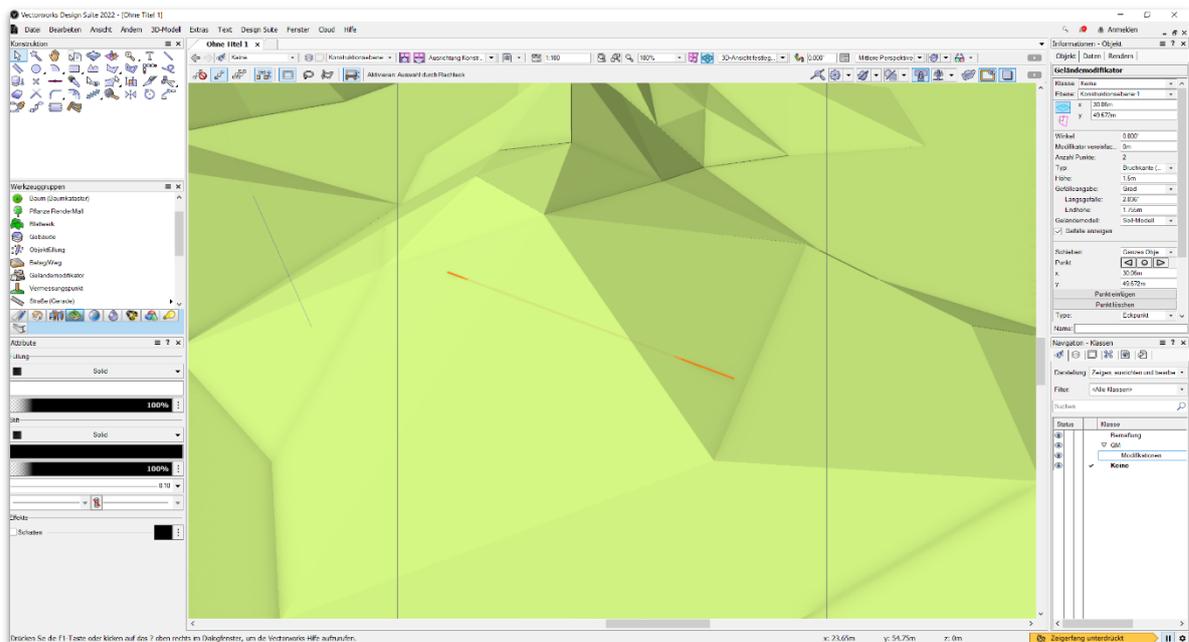


Abbildung 20: Geländemodell ‚Ist-Zustand‘ in Vectorworks. EIGENE DARSTELLUNG.

In Abbildung 21 ist der ‚Soll-Zustand‘ des Geländemodells inklusive angewandter Bruchkante zu sehen. Dieses Geländemodell wird folglich in ‚IFC 2x3 Coordination View 2.0‘ exportiert.

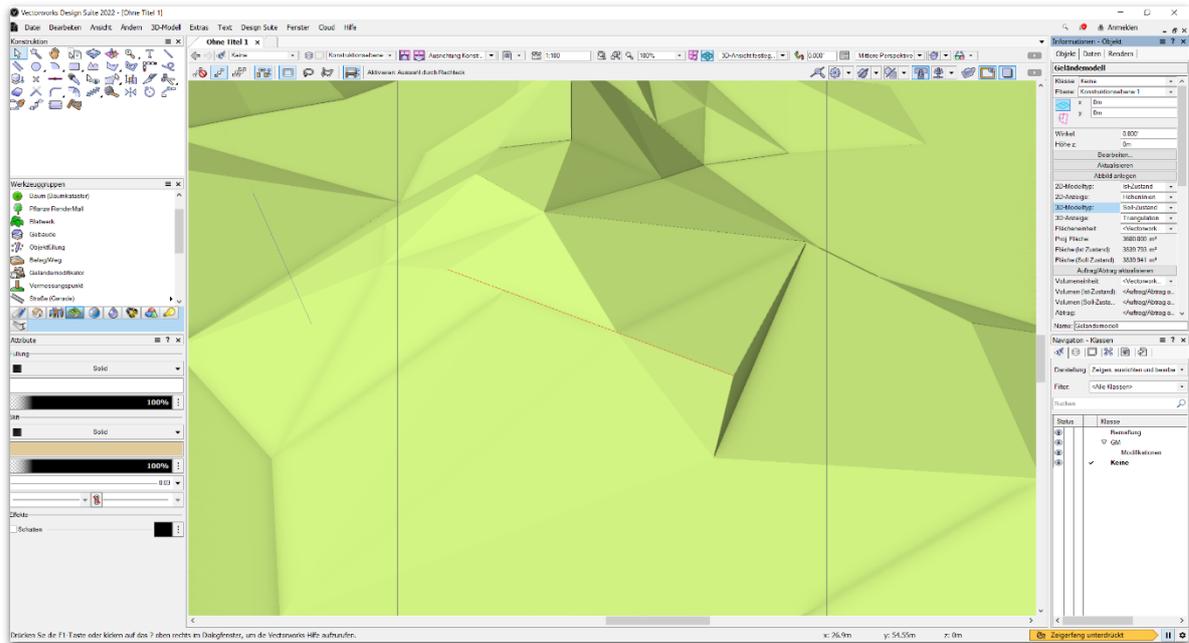


Abbildung 21: Geländemodell ‚Soll-Zustand‘ mit Bruchkante in Vectorworks. EIGENE DARSTELLUNG.

Die IFC-Datei wird zur Überprüfung in den FZK-Viewer importiert. Hier ist aus annähernd derselben perspektivischen Ansicht auf das Modell die deutliche Veränderung im Gelände durch die hinzugefügte Bruchkante zu erkennen. Die Bruchkante wurde zum besseren Verständnis rot eingezeichnet (s. Abb. 22).

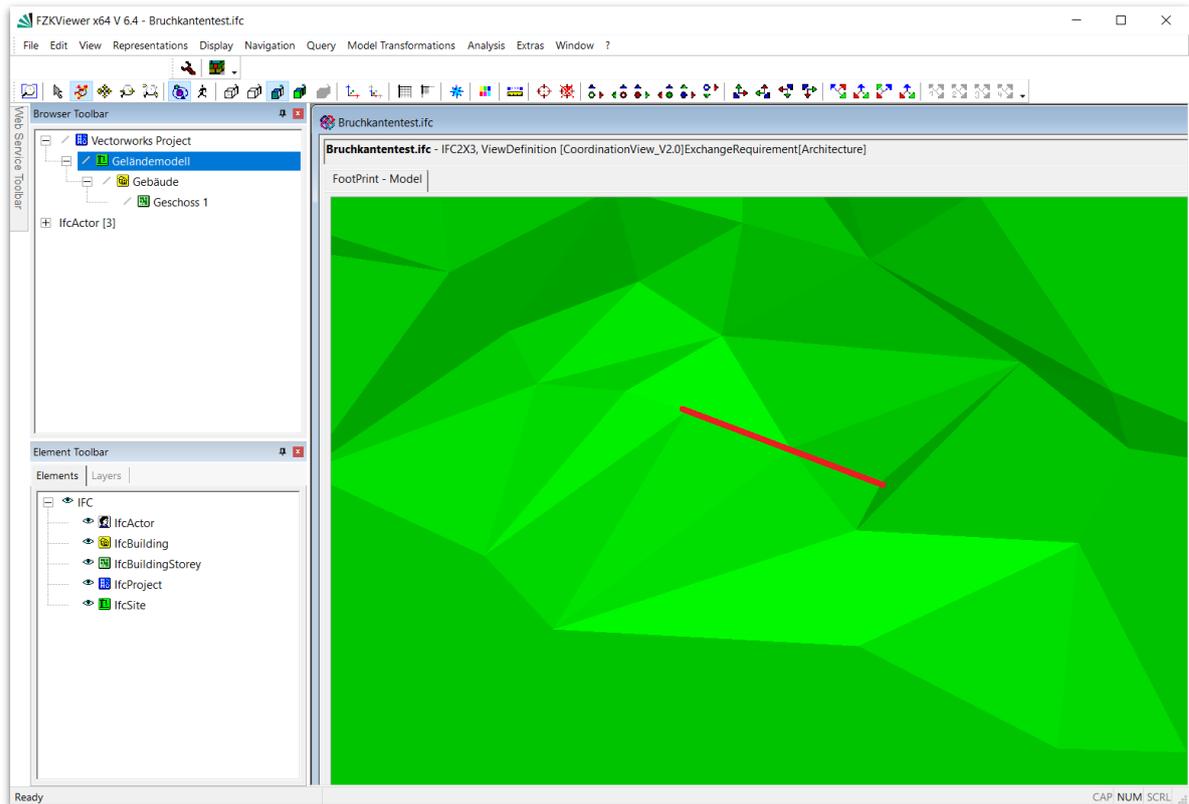


Abbildung 22: IFC-Datei im FZK-Viewer. EIGENE DARSTELLUNG.

In den Abbildungen 23-26 ist mit Hilfe der eingezeichneten Bruchkante zu erkennen, dass die Modifikation im Geländemodell nach Einfügung der IFC-Datei in die jeweilige Software in allen verwendeten BIM-Softwares übernommen wurde.

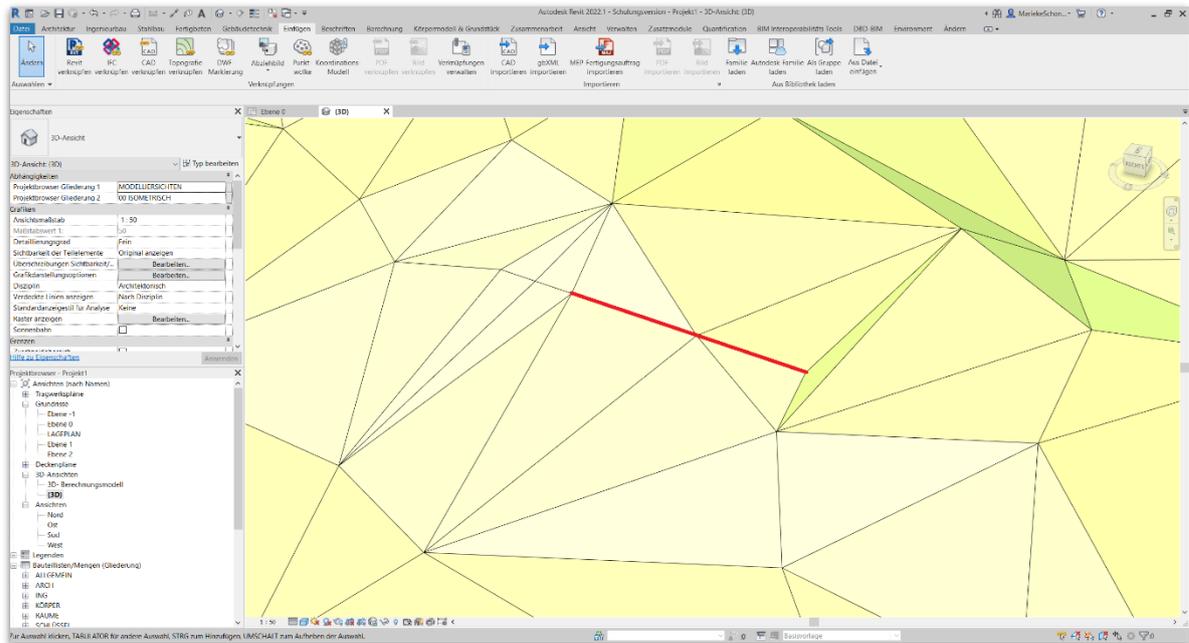


Abbildung 23: IFC-Datei in Autodesk Revit. EIGENE DARSTELLUNG.

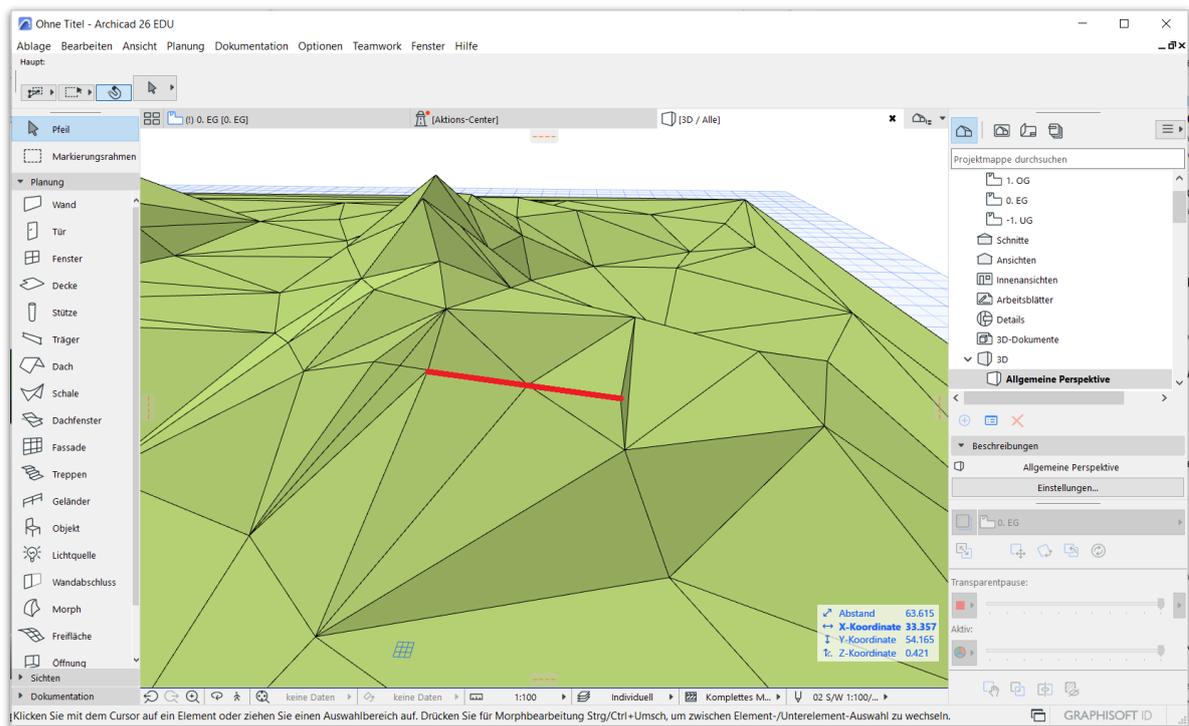


Abbildung 24: IFC-Datei in ArchiCAD. EIGENE DARSTELLUNG.

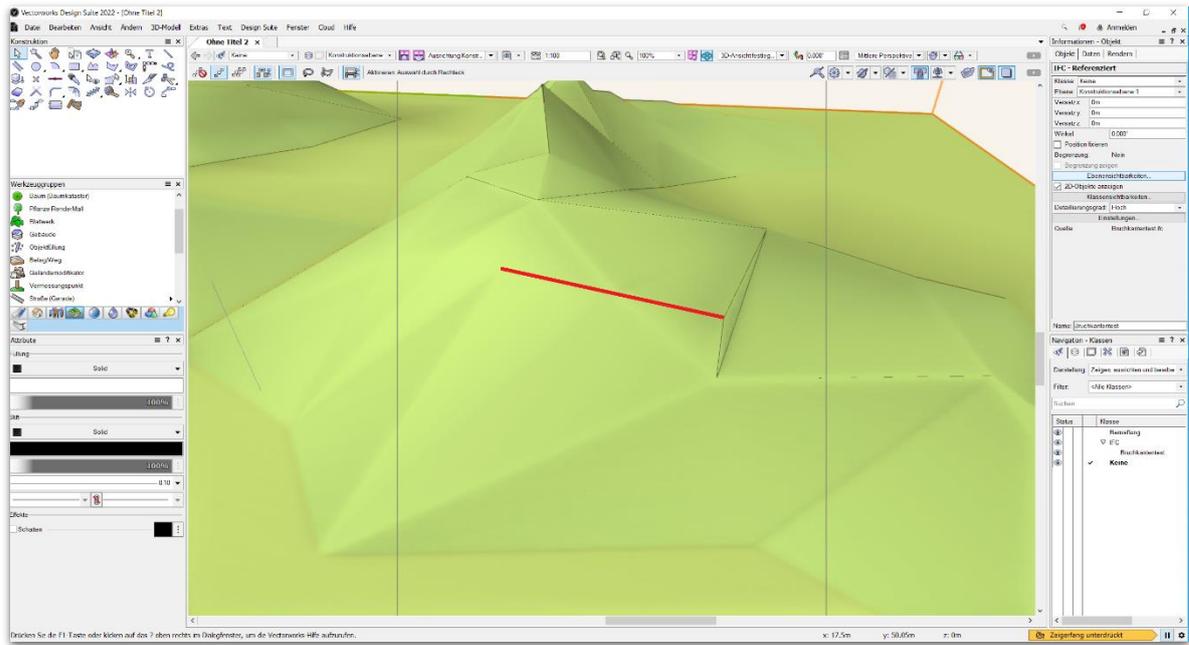


Abbildung 25: IFC-Datei in Vectorworks. EIGENE DARSTELLUNG.

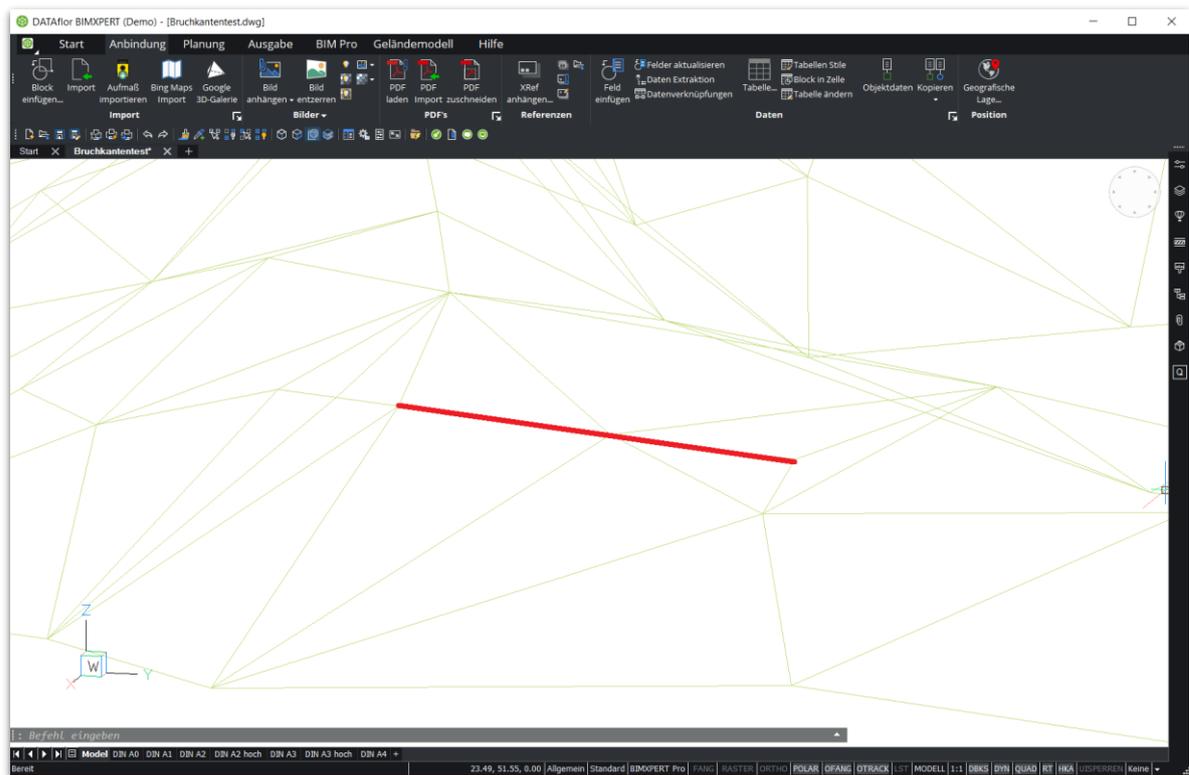


Abbildung 26: IFC-Datei in BIMXPRT. EIGENE DARSTELLUNG.

6.2 Daten für das Fachmodell Umwelt aus dem OpenGeoData.NI

Für einen Freiraumentwurf kann es sinnvoll sein, als Bestandsdaten die Flurstücksgrenzen und ein 3D-Gebäudemodell im direkten Umfeld des Planungsgebiets (Grenzen der exportierten Punktwolke) als Umgebungsdaten zur Verfügung zu haben. In diesem Beispiel wird eine Ausdehnung von 1 km in x- und y-Richtung ausgehend vom Projekt-Basispunkt gewählt. Für einen Projekt-Basispunkt wird üblicherweise ein markanter Punkt innerhalb der Planungsgrenzen bestimmt, dafür bietet sich beispielsweise ein Eckpunkt eines bekannten Gebäudes an. Der Projekt-Norden richtet sich in diesem Fall an einer der anschließenden Gebäudekanten aus. Da für dieses Projekt keine Informationen zu Gebäuden vorliegen, wird die Auswahl des Projekt-Basispunkts und der Nordausrichtung erst nach Einfügen des Gebäudemodells vorgenommen. Bei vorliegenden 2D-Plänen könnte dieser bereits vorab gewählt werden.

Geodaten werden üblicherweise in Formaten zur Verfügung gestellt, die für Geoinformationssysteme ausgelegt sind (s. LGLN 2022e). Dazu gehören unter anderem das 3D-Shape-Format oder CityGML (s. LGLN 2022e). Da die Bearbeitung und der Import dieser Formate teilweise in BIM-Softwares nicht möglich ist, müssen die bezogenen Dateien zur Vorbereitung in Civil 3D bearbeitet und in eine lesbare Datei abgespeichert werden. In diesem Arbeitsschritt kann gleichzeitig der erwähnte passende Zuschnitt von 1 km x 1 km erstellt und der Projekt-Basispunkt ausgewählt und exportiert werden.

6.2.1 Download von Geodaten aus dem OpenGeoData.NI

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 1.1

Auf der Homepage des OpenGeoData.NI (<https://opengeodata.lgln.niedersachsen.de/>) gelangt man direkt zu einer übersichtlichen Produktübersicht (s. Abb. 27). Die verschiedenen zur Verfügung stehenden Produkte werden in einzelnen Kacheln mit Bild und Kurzbeschreibung vorgestellt. Über das Anwählen einer Kachel gelangt man zu den umfassenderen Produktinformationen und den Downloadbereich. Es werden außerdem Angaben zum genutzten Koordinatenreferenzsystem EPSG 25832 (ETRS/UTM32N), zu den zur Verfügung stehenden Datenformaten und der Datengröße gemacht. Über einen Link gelangt man zu einer ausführlicheren Produktbeschreibung des LGLN. Auch die Nutzungsbedingungen werden erläutert.

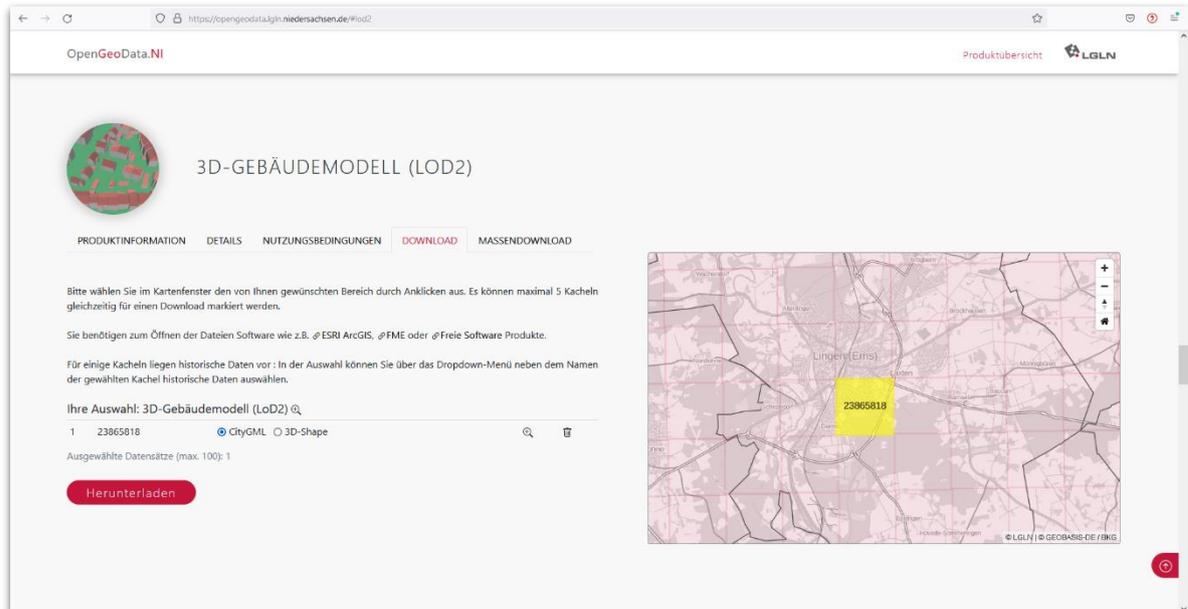


Abbildung 27: Downloadbereich 3D-Gebäudemodell (LOD2) im OpenGeoData.NI.
EIGENE DARSTELLUNG.

Im Downloadbereich wird über die nebenstehende Kartenansicht der gewünschte Kartenausschnitt gewählt. Anschließend kann im Beispiel des 3D-Gebäudemodells zwischen den Formaten ‚CityGML‘ und ‚3D-Shape‘ entschieden werden. In dieser Arbeit werden das 3D-Gebäudemodell im City-GML-Format und die Flurgrenzen im Shape-Format heruntergeladen. Die Downloads können anschließend im Ordner ‚Downloads‘ des PCs abgerufen werden.

6.2.2 Aufbereitung der Daten in Autodesk Civil 3D

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 1.2

Im Anschluss werden die heruntergeladenen Dateien des 3D-Gebäudemodells und der Flurgrenzen für den Bereich des Botanischen Gartens Osnabrück in Autodesk Civil 3D importiert und für die Weiterverwendung in entsprechender BIM-Software aufbereitet. Für den Import von Dateien im City-GML- oder Shape-Format kann in Civil 3D der Befehl ‚Mapimport‘ genutzt werden. Folgende Dateiformate können über diesen Befehl importiert werden (s. Abb. 28).

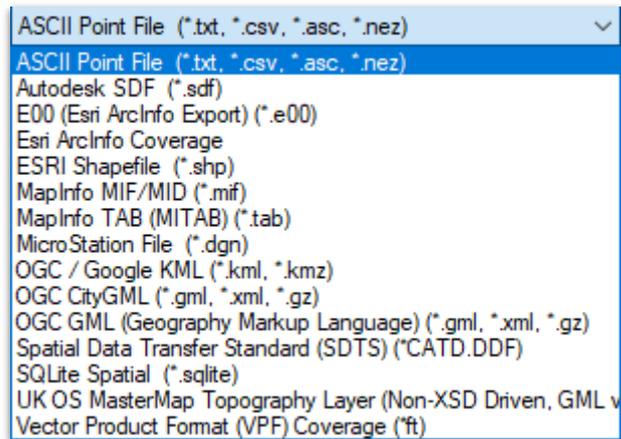


Abbildung 28: Mögliche Datenformate für einen Mapimport. EIGENE DARSTELLUNG.

Die importierten Daten werden standardmäßig auf dem 0-Layer importiert. Generell gilt für die Arbeit in Civil 3D sinnvoll strukturierte Layer vorzubereiten. 3D-Gebäudemodell und Flurgrenzen werden entsprechend auf jeweils eigene Layer gelegt. Anschließend erfolgt die Selektierung der Gebäude und Flurgrenzen entsprechend eines 1 km x 1 km großen Bereichs um den Projekt-Basispunkt. Die Beschreibung zur Erstellung des Projekt-Basispunkts kann im *Anhang 1 in Kapitel 4.1.1* nachvollzogen werden. Für die Auswahl müssen einzelne Gebäudeobjekte und Flurgrenzen gelöscht werden. Während die 3D-Gebäudemodelle bereits aus einzelnen Linien bestehen, liegen die Flurgrenzen als Polygonobjekte, sogenannte ‚MPolylinien‘, vor. Diese müssen mit dem Befehl ‚Ursprung‘ gesprengt werden, um einzelne Flurgrenzen löschen zu können. Die vorbereiteten Modelle werden abschließend als ‚WBlock‘ im DWG-Format gespeichert (s. Abb. 29).

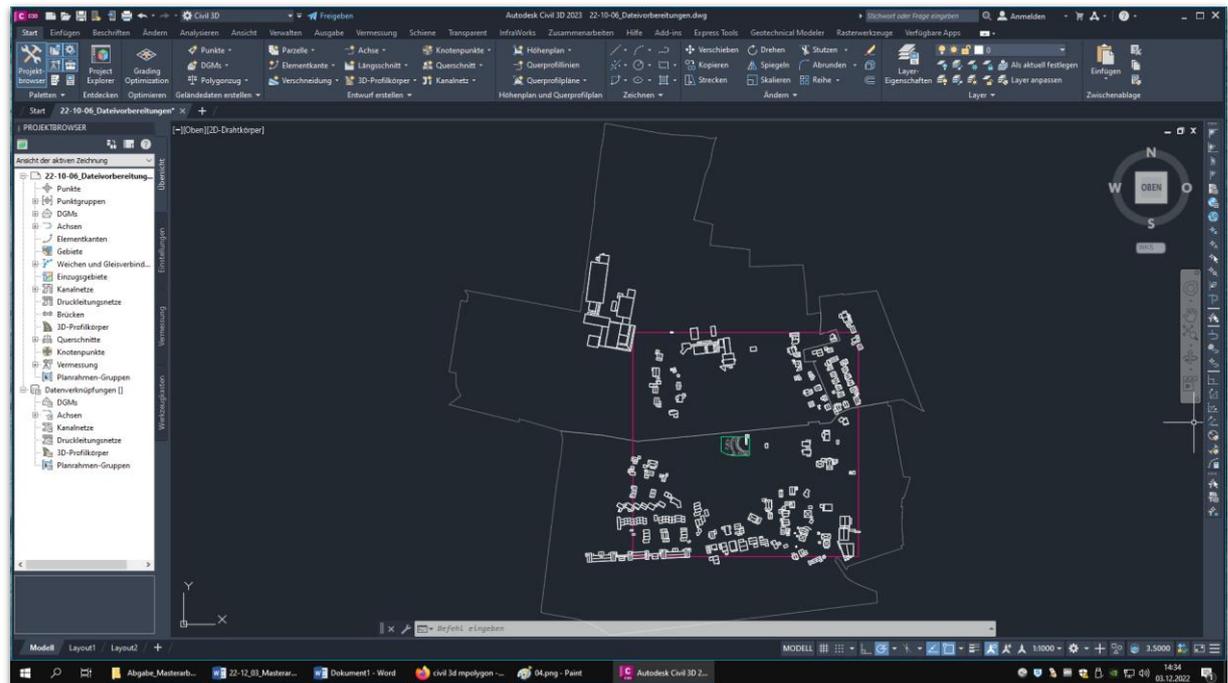


Abbildung 29: Ergebnis der aufbereiteten Geodaten. EIGENE DARSTELLUNG.

6.3 Vorbereitung der Punktwolken in CloudCompare

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 2

Als Datengrundlage liegen dieser Arbeit drei Punktwolkendateien im LAZ-Format von verschiedenen Abschnitten aus dem Botanischen Garten in Osnabrück vor. Diese Dateien wurden mit einem Punktabstand von 0,1 m aus der Software Agisoft Metashape exportiert.

In folgender Tabelle 5 sind die originalen Punktabstände und Punkte der Dateien aus Agisoft Metashape aufgelistet:

Tabelle 6: Daten zu Original-Punktwolken. EIGENE DARSTELLUNG.

Bezeichnung	Original Punkte (in Stk.)	Original Punktabstand (in m)	Punkte mit 0,1 m Punktabstand (in Stk.)
Nord	81.571.216	0.027151915 m	7.210.100
Nord neu	61.567.038	0.026441768	5.502.069
Steinbruch	172.760.598	0.011116436	2.247.608
Gesamt	315.898.852	-	14.959.777

Für die Nutzung der Punktwolkendaten, müssen diese für die folgende Erstellung von Geländemodellen zunächst in der Open Source Software CloudCompare vorbereitet und aufgearbeitet werden. Dafür werden die drei Dateien in einem ersten Schritt importiert und über den Befehl ‚Merge‘ zusammengeführt, sodass ein zusammenhängendes Gebiet des Botanischen Gartens als Punktwolke vorliegt (s. Abb. 30).

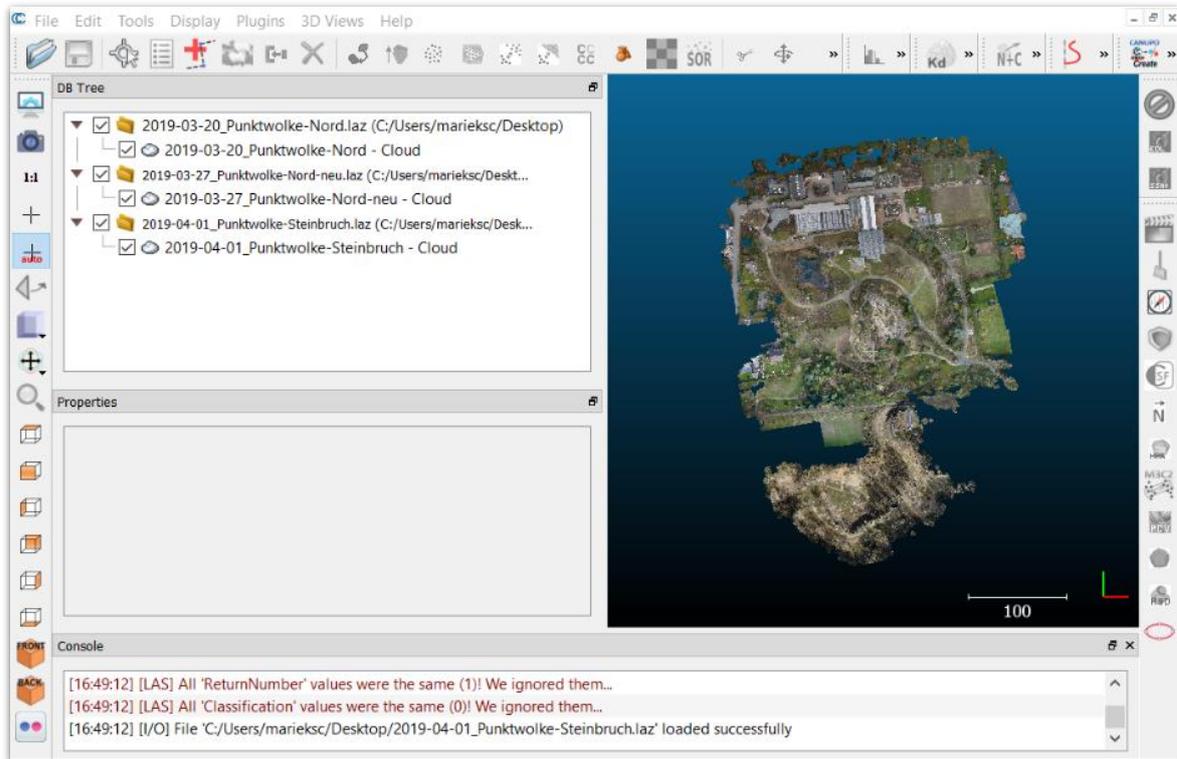


Abbildung 30: Gesamtpunktwolke des Botanischen Gartens. EIGENE DARSTELLUNG.

Aus dem gesamten Bereich wird ein Ausschnitt gewählt, der ein abwechslungsreiches Gelände beinhaltet. Er enthält sowohl annähernd ebene Flächen als auch eine Senke und einen Steilhang. Dieser gewählte Ausschnitt wird in einem zweiten Schritt mit dem Befehl ‚Segment‘ aus der Punktwolke ausgeschnitten und zwischengespeichert (s. Abb. 31). Da CloudCompare für jeden Bearbeitungsschritt eine neue Datei erstellt, müssen die nicht mehr benötigten unbearbeiteten Daten über ‚Delete‘ gelöscht werden. Die Punktzahl des Ausschnitts beträgt 433.833.

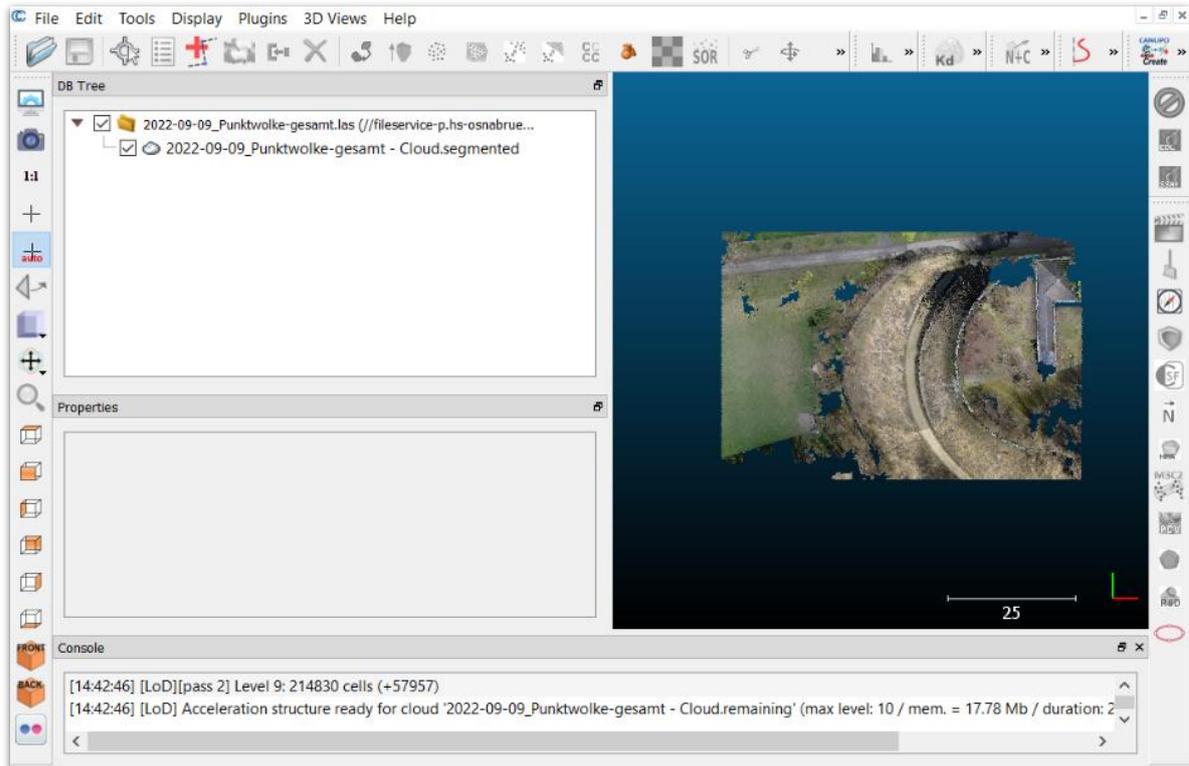


Abbildung 31: Punktwolkenausschnitt entsprechend des Projektgebiets. EIGENE DARSTELLUNG.

Es folgt der aufwendigste Teil der Punktwolkenbearbeitung. Da die Punkte der Punktwolken nicht kategorisiert sind, müssen die benötigten Bodenpunkte für die Erstellung eines DGMS manuell selektiert werden. Für die Bereinigung wird die Punktwolke in verschiedenen Ansichten gedreht, um möglichst den gesamten Aufwuchs zu identifizieren. Die Pflanzen werden über den Befehl ‚Segment‘ ausgewählt und gelöscht.

Als zweite Möglichkeit der Bereinigung wird unter dem Reiter ‚Plug-ins‘ der sogenannte CSF Filter (Cloth Simulation Filter) getestet. Dieses Plug-in ermöglicht durch seinen Algorithmus das Herausfiltern von Bodenpunkten aus Punktwolken.

In dieser dreidimensionalen Ansicht der Punktwolke in CloudCompare ist Bewuchs gekennzeichnet, der in einer bereinigten Punktwolke nicht mehr vorhanden sein sollte (s. Abb. 32).

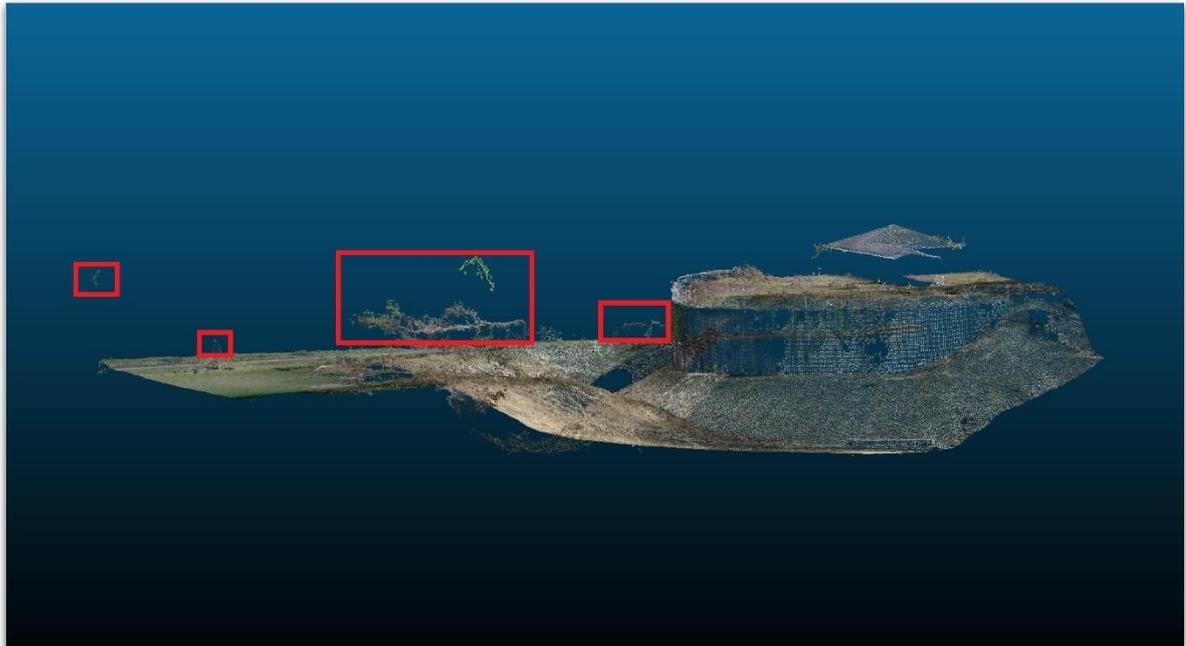


Abbildung 32: Punktwolke mit markiertem Bewuchs. EIGENE DARSTELLUNG.

In den allgemeinen Parameter-Einstellungen können wahlweise die Landschaftstypen ‚Steep slope‘ (Steilhang), ‚Relief‘ (hügelige Erdoberfläche) oder ‚Flat‘ (flache Landschaft) ausgewählt werden (s. Abb. 33). Da bei der verwendeten Punktwolke ein Steilhang enthalten ist, wird diese Option testweise ausgewählt.

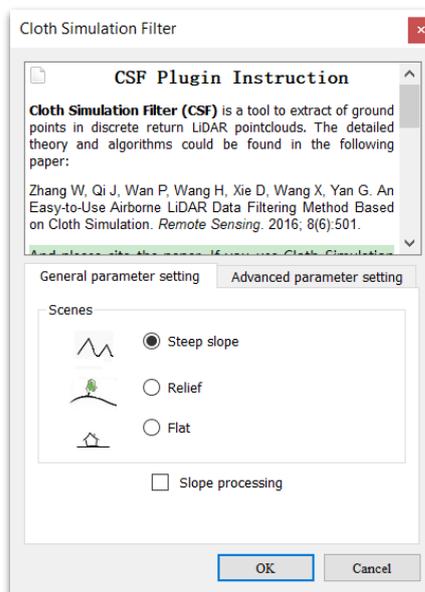


Abbildung 33: Cloth Simulation Filter. EIGENE DARSTELLUNG.

In den erweiterten Einstellmöglichkeiten müssen Zahlenwerte für die Bereiche ‚Cloth Resolution‘ (gemeint ist der Punkteabstand), ‚Max iterations‘ (maximale Anzahl an Wiederholungen) und ‚Classification threshold‘ (Klassifizierungsschwelle) festgelegt werden (s. Abb. 34). In den Erläuterungen wird verdeutlicht, dass der Wert der ‚Cloth Resolution‘ dem der Gitterweite der Punkte entspricht. Hier wird somit der Wert 0.1 eingetragen. Bei der maximalen Anzahl an Wiederholungen wird ein Wert von 500 empfohlen. Für ‚Classification threshold‘ wird ebenfalls ein Wert von 0.1 angenommen. Die Einheiten für ‚Cloth Resolution‘ und ‚Classification threshold‘ entsprechen der Einheit der Punktwolke, in diesem Fall also Meter.

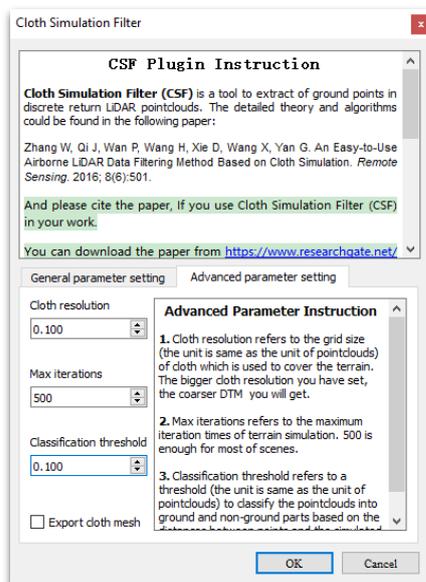


Abbildung 34: CSF-Filter – Erweiterte Einstellmöglichkeiten. EIGENE DARSTELLUNG.

Nach Anwendung des Filters ist zu erkennen, dass der Bewuchs in den zuvor markierten Bereichen gänzlich entfernt wurde (s. Abb. 35). Im Fall des Bewuchses lässt sich der Algorithmus somit in diesem Beispiel als äußerst präzise bewerten. Nachteil ist, dass der Steilhang trotz der Einstellung ‚Steep Slope‘ nicht als solcher identifiziert werden konnte und ebenfalls aus den Bodenpunkten herausgefiltert wurde. Auch mit den Einstellungen ‚Relief‘ und ‚Flat‘ wird der Steilhang entfernt. Auch in weiteren Einstellungsversuchen, in denen sowohl die Werte zu ‚Max iterations‘ (Testwerte: 100, 500, 1000) als auch ‚Classification threshold‘ (Testwerte 0.1, 0.5, 1) geändert wurden, ist es nicht möglich, den Steilhang aus den Nicht-Bodenpunkten auszuschließen. Änderungen des Wertes ‚Max iterations‘ zeigten kaum Änderungen im Ergebnis der Filterung. Bei Erhöhung des ‚Classification threshold‘-Wertes wurde mit steigendem Wert weniger Bewuchs herausgefiltert. Die Einstellungen aus dem ersten Versuch sind somit am besten bezüglich der Entfernung des Bewuchses zu

bewerten. Um den Steilhang erhalten zu können, wird jedoch empfohlen, die manuelle Bereinigung - also das Entfernen des Bewuchses mit dem Segment-Befehl in verschiedenen Ansichten - der Punktwolke anzuwenden.

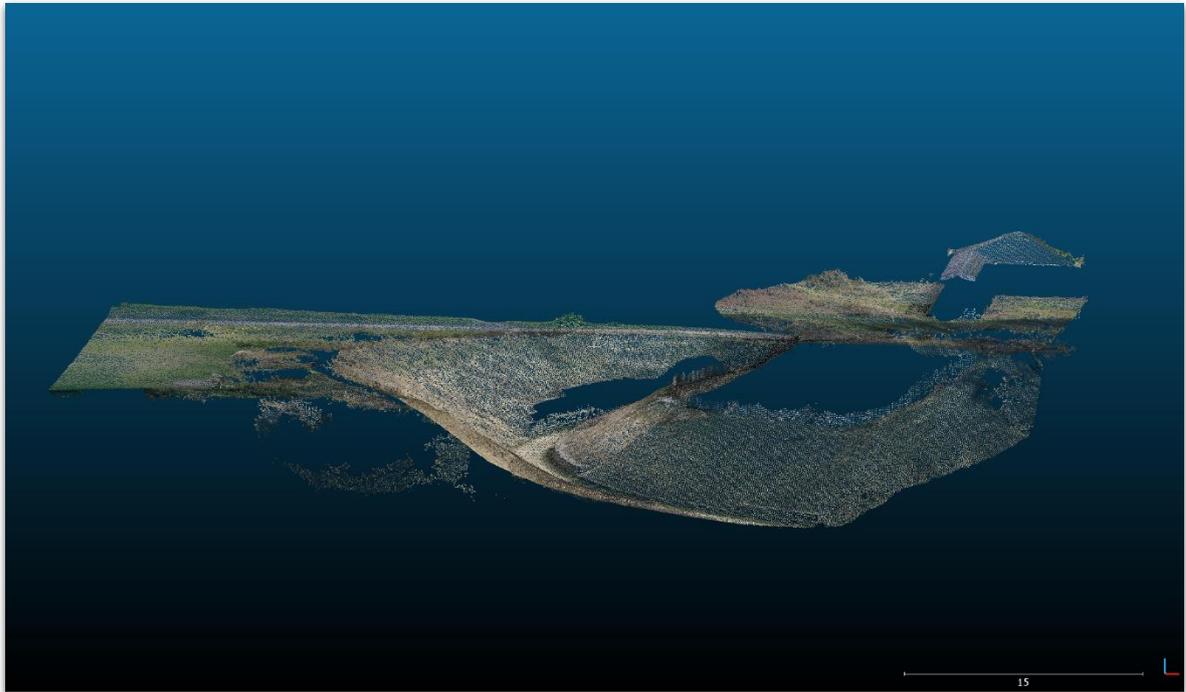


Abbildung 35: Ergebnis der Filteranwendung. EIGENE DARSTELLUNG.

Abschließend wird die bereinigte Punktwolke in den zwei Formaten .las und .txt als Datengrundlage für die Erstellung der Geländemodelle abgespeichert. Die .txt-Dateien können in einem Texteditor geöffnet werden (s. Abb. 36):

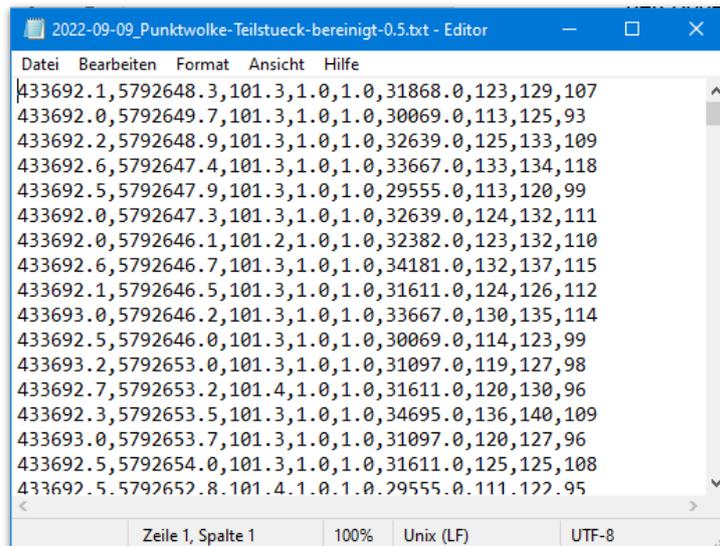


Abbildung 36: Punktdaten im Texteditor. EIGENE DARSTELLUNG.

In den ersten Tests zur Erstellung von Geländemodellen in den BIM-Softwares auf Grundlage der Ausschnittsdatei mit einem Punktabstand von 0,1 m wurden erhebliche Schwierigkeiten hinsichtlich der Verarbeitung der großen Datenmenge festgestellt. So wurden die Punkte nachträglich in CloudCompare über den Befehl ‚Subsample‘ auf einen Punktabstand von 0,5 m reduziert. Die Punktzahl beträgt nun 7.286.

Abschließend ist anzumerken, dass die in dieser Arbeit angewendeten Einstellungen und Filter in CloudCompare zu keiner Glättung des natürlichen Steilhangs führten. Vielmehr erzeugte die automatische Vermaschung der Höhenpunkte an dieser Stelle eine sinnwidrige Verknüpfung von Höhenpunkten. Sinnvoll wäre hier eine manuelle Glättung des Steilhangs.

6.4 Autodesk Civil 3D – Geländemodell 1

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 3

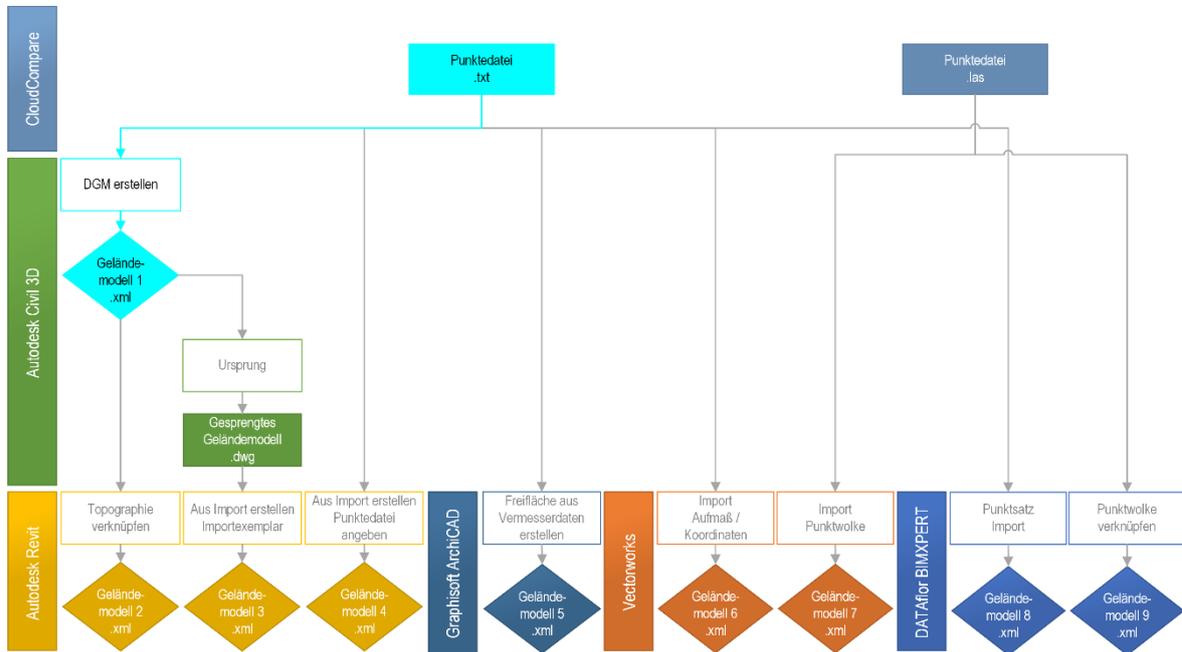


Abbildung 37: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Das Geländemodell 1 wird in der Software Autodesk Civil 3D erstellt. Dieses dient im späteren Verlauf als Vergleichs-DGM für alle weiteren Geländemodelle. Für die Erstellung des Geländemodells wird die Punktedatei im .txt-Format verwendet. Für die Definition des Geländemodells über Punktedateien sind verschiedene Formate wählbar (s. Abb. 38).

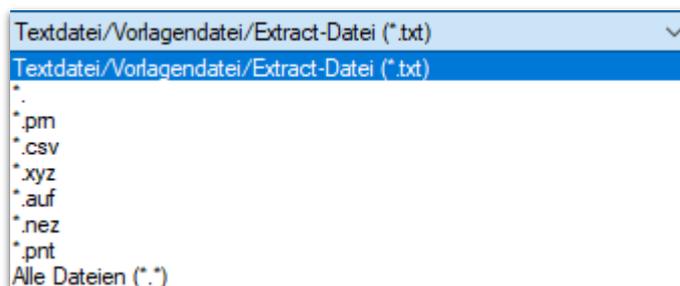


Abbildung 38: Mögliche Dateiformate für Punktedateien. EIGENE DARSTELLUNG.

Ein Geländemodell wird in Civil 3D in der Übersicht des sogenannten Projektbrowsers erstellt (s. Abb. 39). Dieser ist in der Grundeinstellung am linken Seitenrand des Programms fixiert. Das Anlegen eines DGMs und dessen Definition können jeweils über einen Rechtsklick ausgeführt werden.

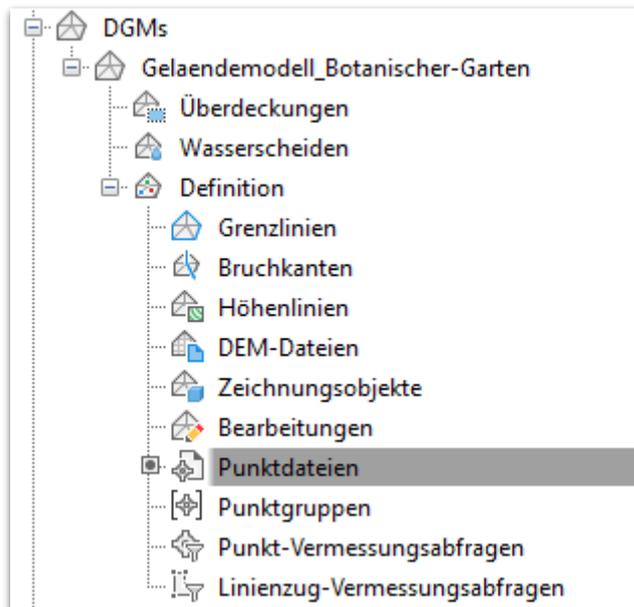


Abbildung 39: Ausschnitt aus der Übersicht des Projektbrowsers. EIGENE DARSTELLUNG.

In den zugehörigen Einstellungen zum DGM kann zwischen verschiedenen Typen gewählt werden. In dieser Arbeit wird für die Erstellung des Geländemodells der Typ ‚Trianguliertes Geländemodell‘ genommen. In den entsprechenden Informationen können ein Name und eine Beschreibung angegeben werden. Zusätzlich wird der Stil bestimmt, in welchem das DGM in der Draufsicht angezeigt wird. Beim Hinzufügen der Punktdatei muss darauf geachtet werden, in welchem Format die Punkte vorliegen und der entsprechende Typ muss ausgewählt werden. Civil 3D schlägt ein mögliches passendes Format vor. In diesem Fall ist die Reihenfolge der Punktdatei Rechtswert, Hochwert, Punkthöhe mit Kommatrennung (RHZ (Kommatarennung)). Das Programm hat somit bereits das richtige Format vorgeschlagen. Die Reihenfolge kann zuvor über das Öffnen der Punktdatei in einem Texteditor kontrolliert werden. Aber auch in Civil 3D ist eine Vorschau der Werte zu sehen (s. Abb. 40).

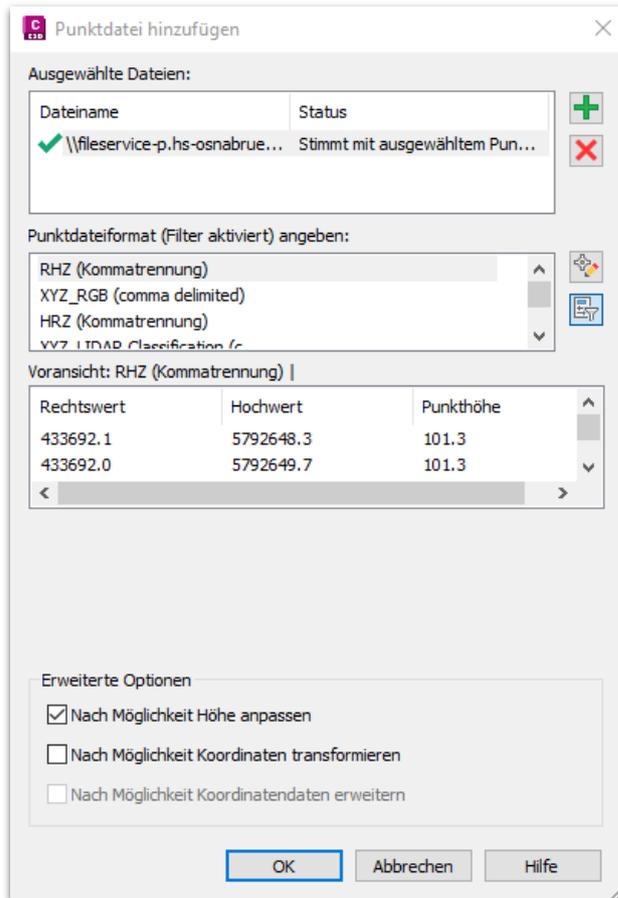


Abbildung 40: Kontrolle der Punktdatei. EIGENE DARSTELLUNG.

Mit Bestätigung des Fensters wird das Geländemodell erstellt (s. Abb. 41). Das Geländemodell wird stets auf dem Layer ‚C-TOPO‘ importiert. Das Anlegen eines eigenen Layers und das Umsortieren des Geländemodells wird für eine bessere Übersicht empfohlen.

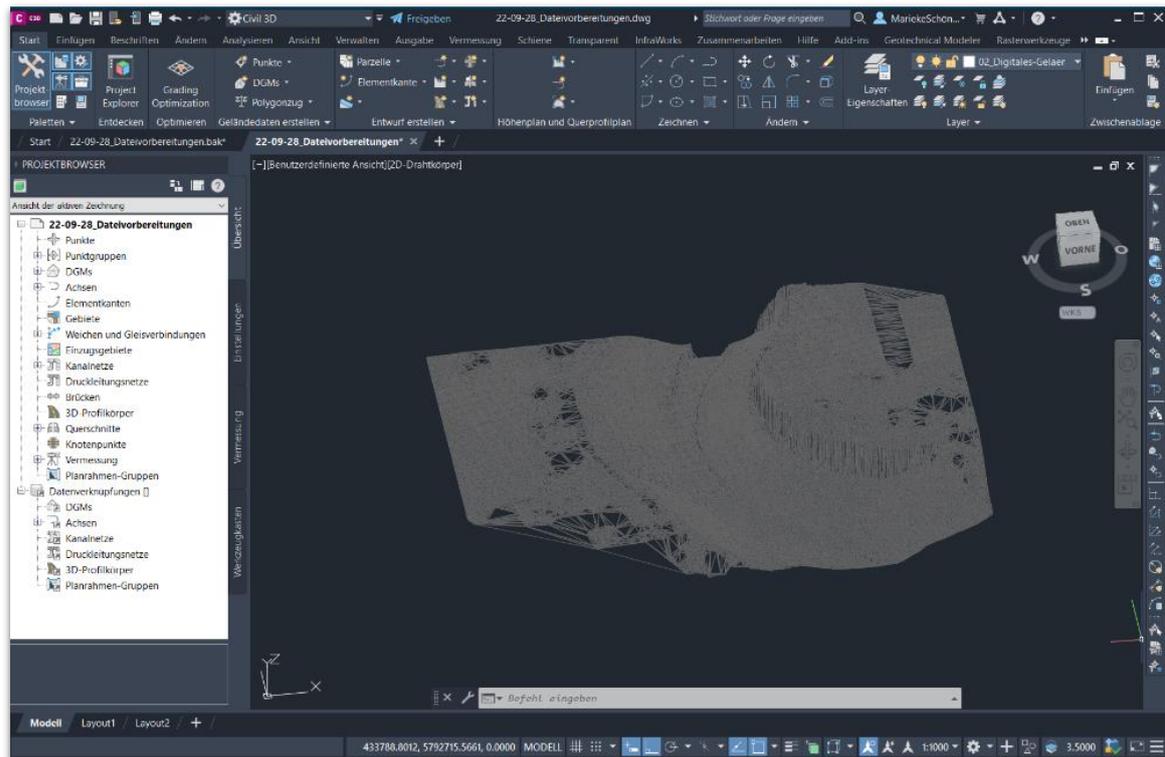


Abbildung 41: Ergebnis Geländemodell 1 in Autodesk Civil 3D. EIGENE DARSTELLUNG.

6.5 Autodesk Revit – Geländemodelle 2-4

In Autodesk Revit gibt es drei unterschiedliche Wege ein Digitales Geländemodell zu erstellen. Im Folgenden werden diese drei Möglichkeiten vorgestellt. Um die Geländemodelle georeferenziert in Revit dazustellen und exportieren zu können, muss vorbereitend ein sogenannter ‚Shared Reference Point‘ auf Grundlage eines erstellten Projekt-Basispunkts aus Autodesk Civil 3D exportiert und verknüpft werden. Dieser enthält die x-, y- und z-Koordinaten des erstellten Projektbasispunkts. Der ‚Shared Reference Point‘ kann in einem Texteditor geöffnet werden (s. Abb. 42).

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 4.1

Für den späteren Vergleich der Geländemodelle werden diese abschließend im DWG-Format exportiert.

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 4.5

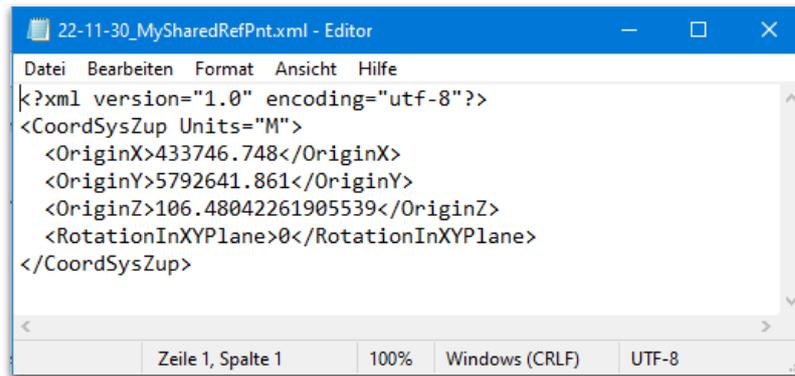


Abbildung 42: ‚Shared Reference Point‘ im Texteditor. EIGENE DARSTELLUNG.

6.5.1 Geländemodell 2 – ‚Topographie verknüpfen‘

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 4.2

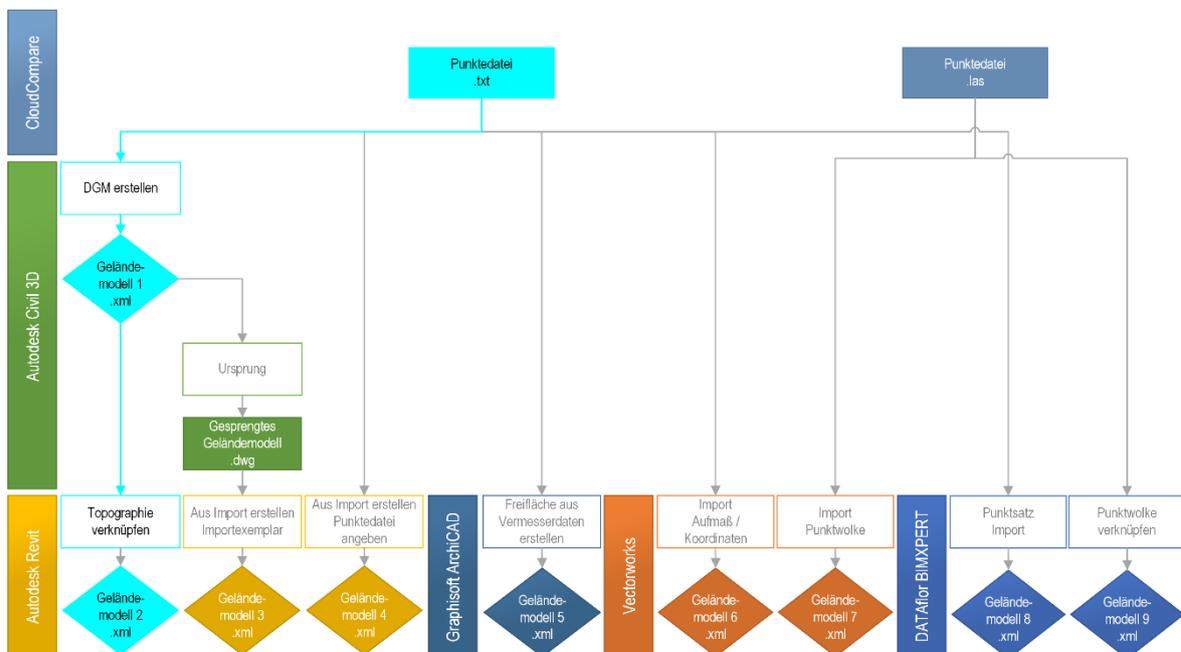


Abbildung 43: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Vorbereitend muss der erstellte ‚Shared Reference Point‘ aus Civil 3D in Revit importiert und als Standort eingestellt werden. Dafür wird über den Reiter ‚Zusatzmodule‘ der Befehl ‚Import Shared Coordinates from XML File‘ aufgerufen. Anschließend wird der Projekt-Basispunkt ausgewählt und die Nordrichtung vorgegeben. Wenn der Vermessungspunkt nach Einstellung des Standorts ebenfalls georeferenziert vorliegen soll, muss dieser zuvor gelöst werden. Ist der Referenzpunkt importiert, wird dieser über die Verwaltung von ‚Ort und

Grundstück' als ‚aktuell‘ definiert. Der Projekt-Basispunkt liegt nun georeferenziert im Revit-Projekt vor (s. Abb. 44).



Abbildung 44: ‚Shared Reference Point‘ ist als Grundstück eingestellt. EIGENE DARSTELLUNG.

Der erste Weg der Erstellung eines Geländemodells erfolgt über den Befehl ‚Topographie verknüpfen‘. In Revit wird auf Grundlage dieses Befehls ein verknüpftes Geländemodell angezeigt, welches im Ordner Autodesk Docs der Autodesk Construction Cloud abgespeichert ist. Hierfür wird das Geländemodell 1 aus Civil 3D verknüpft, das im vorherigen Kapitel erstellt wurde. Dort wird es nach der Erstellung über den Reiter ‚Ausgabe‘ und den Befehl ‚DGMs publizieren‘ als XML-Datei abgespeichert. Das Ergebnis ist in Abbildung 45 dargestellt.

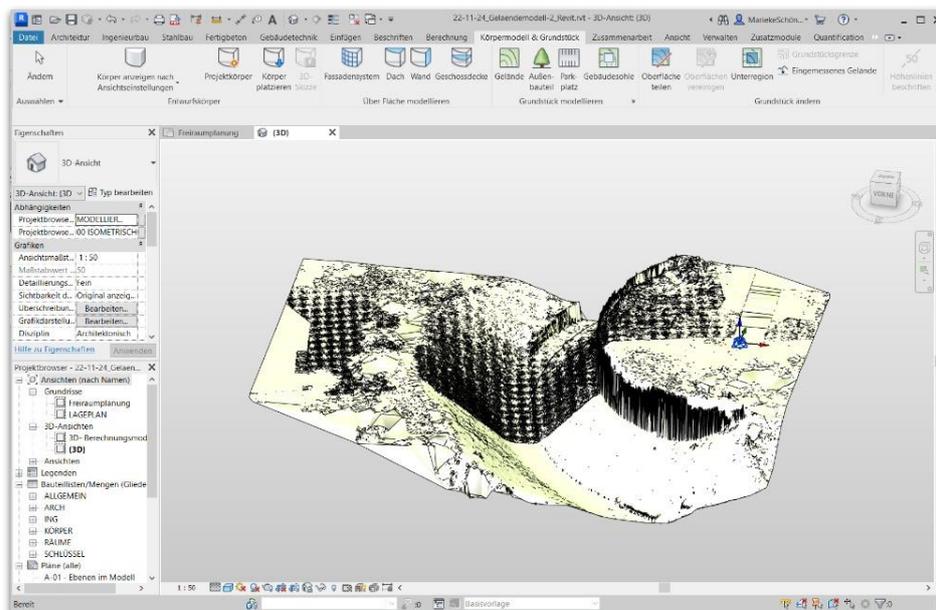


Abbildung 45: Geländemodell 2 in Autodesk Revit. EIGENE DARSTELLUNG.

6.5.2 Geländemodell 3 – ‚Importexemplar‘ – Import von Höhenlinien

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 4.3

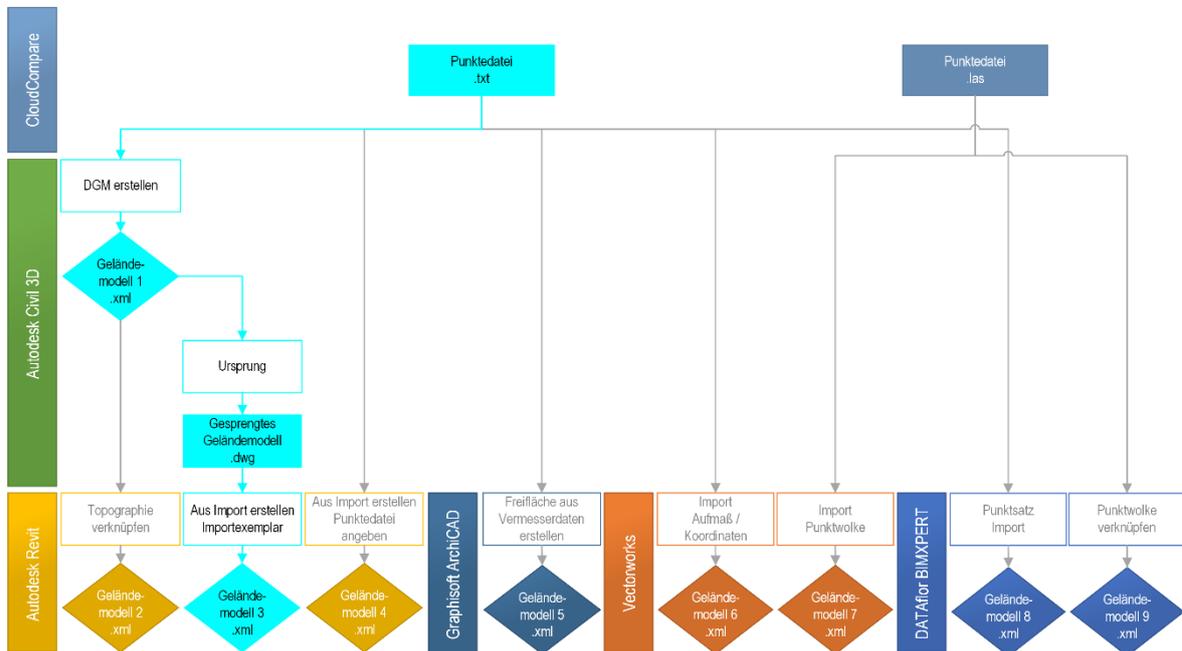


Abbildung 46: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Die zweite Möglichkeit ein Geländemodell in Revit zu erstellen ist über den Import von exportierten Höhenlinien des in Civil 3D erstellten Geländemodells 1. Dazu wird das triangulierte Geländemodell in Civil 3D über ‚Ursprung‘ zwei Mal gesprengt. Als Ergebnis liegen die einzelnen Höhenlinien entsprechend des zuvor eingestellten Stils als Polylinien mit einem Abstand von 2 m im Neben- und 10 m im Hauptintervall vor. Die Polylinien werden im Anschluss als ‚WBlock‘ abgespeichert. In Autodesk Revit wird nun zunächst dieser Block über den Reiter ‚Einfügen‘ als CAD verknüpft (s. Abb. 47). Als Positionierung wird ‚Auto – Ursprung zu internem Ursprung‘ gewählt. So liegt der Projekt-Basispunkt nach dem Import auf 0,0,0.

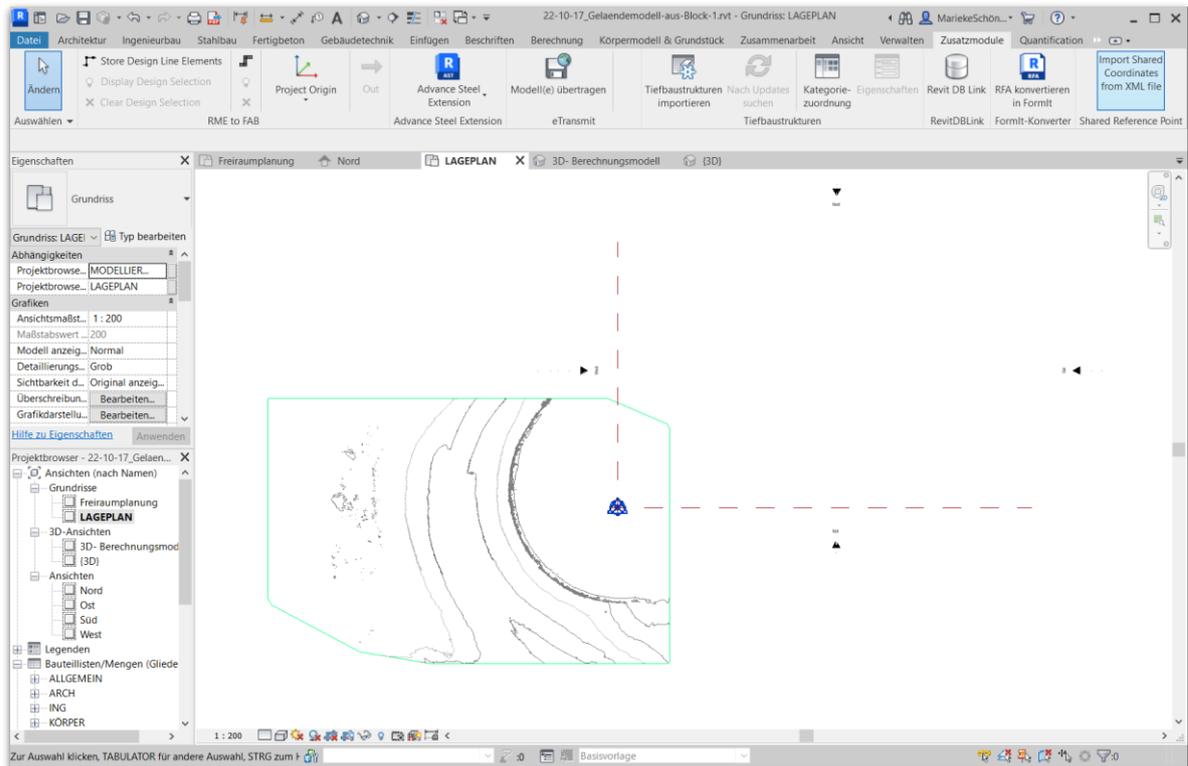


Abbildung 47: Die CAD-Datei liegt nach Import auf dem Projekt-Basispunkt. EIGENEN DARSTELLUNG.

Nun wird der ‚Shared Reference Point‘ importiert und als Standort über ‚Ort und Grundstück‘ als ‚aktuell‘ definiert. Die verknüpfte CAD-Datei liegt nun auf dem georeferenzierten Projekt-Basispunkt. Anschließend wird das Geländemodell erstellt. Dazu wird der Reiter ‚Körpermodell und Grundstück‘ ausgewählt. Unter ‚Grundstück modellieren‘ wird der Befehl ‚Gelände‘ ausgeführt. Hier gibt es nun die Möglichkeit ‚Aus Import erstellen‘. Es wird der Unterpunkt ‚Importexemplar wählen‘ angewählt. Die importierte CAD-Datei wird angewählt und mit dem grünen Haken bestätigt. In den Grundstückseinstellungen können die angezeigten Höhenlinienintervalle ausgestellt werden. Diese werden für den DWG-Export nicht benötigt. Das Ergebnis ist in Abbildung 48 dargestellt.

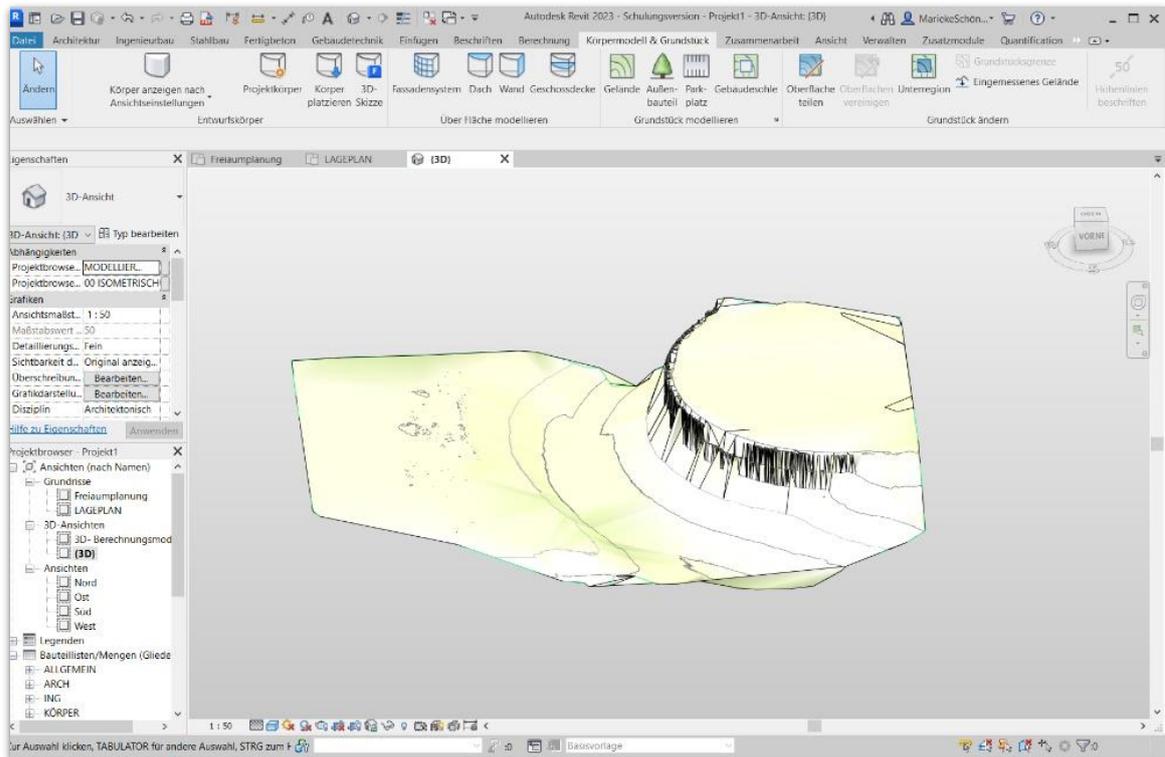


Abbildung 48: Geländemodell 3 in Autodesk Revit. EIGENE DARSTELLUNG.

6.5.3 Geländemodell 4 – ‚Punktdatei angeben‘

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 4.4

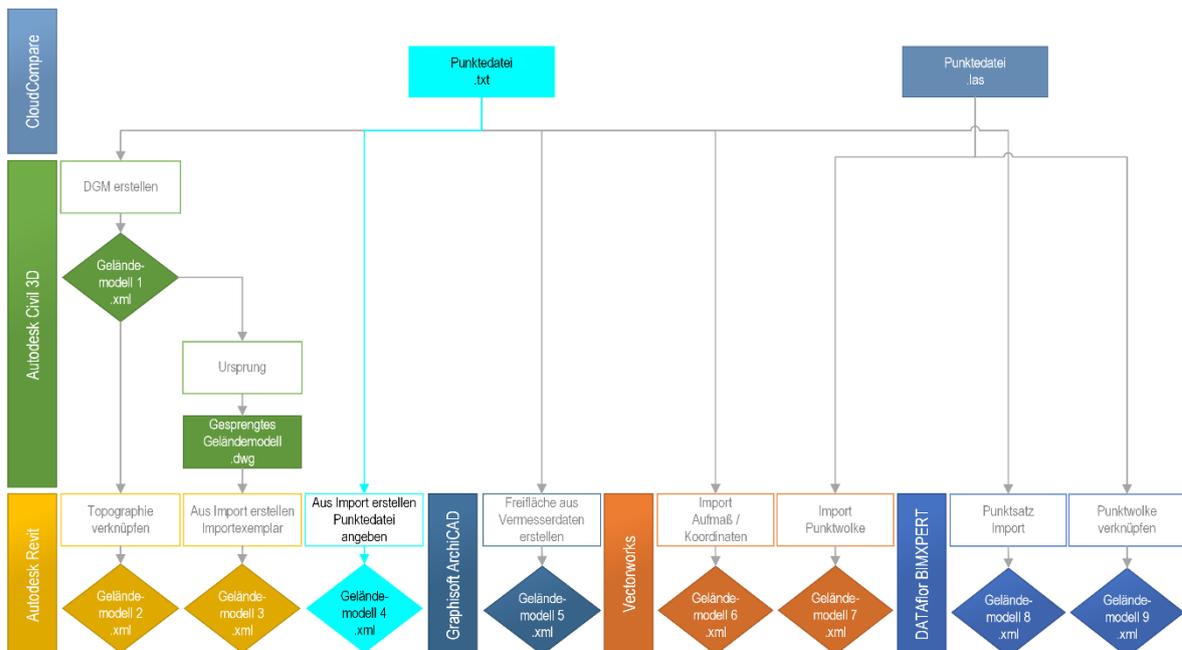


Abbildung 49: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Der dritte Weg für die Erstellung eines Geländemodells in Autodesk Revit ist über den Import einer Punktedatei. Nach ersten Tests lässt sich feststellen, dass die Punktedatei nicht georeferenziert über den Shared Reference Point in das Revit-Projekt geladen werden sollte. Dabei tritt folgende Warnung auf (s. Abb. 50):

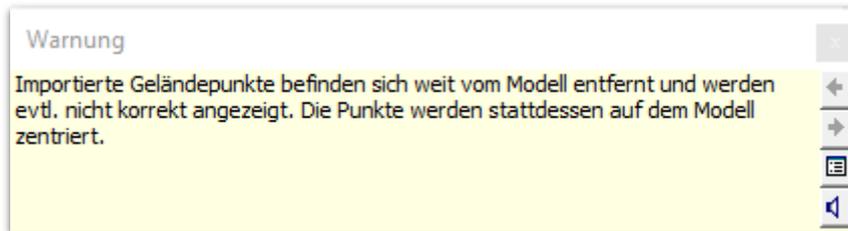


Abbildung 50: Warnung beim Import einer georeferenzierten Punktedatei. EIGENE DARSTELLUNG.

Aus diesem Grund muss die Punktedatei in Vorbereitung für den Import in CloudCompare am Projekt-Basispunkt auf den Nullpunkt geschoben werden. Über den Befehl ‚Apply transformation‘ wird in der Matrix für den x-, y- und z-Wert der negative Wert der Koordinate eingegeben (s. Abb. 51). Abschließend wird die Datei im TXT-Format abgespeichert.

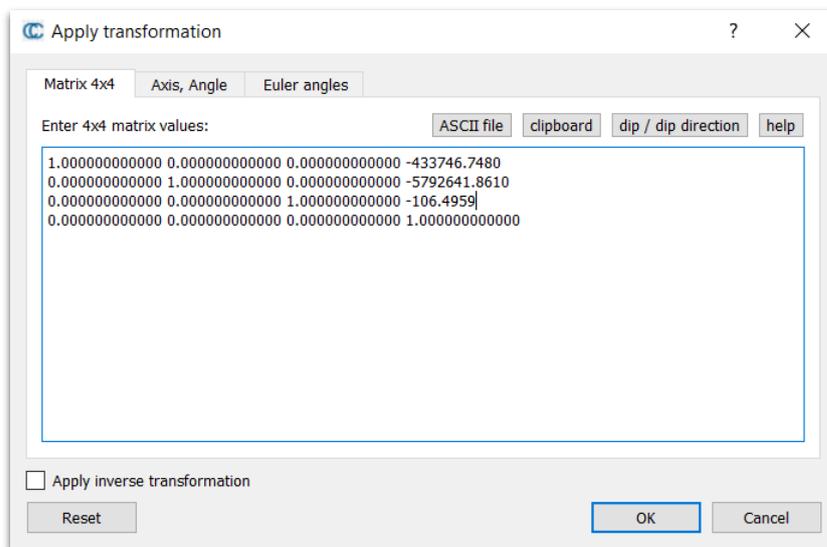


Abbildung 51: Eintragen der negativen Koordinatenwerte in die Matrix. EIGENE DARSTELLUNG.

Nun kann das Geländemodell in Revit erstellt werden. Dabei wird zunächst die Punktedatei über den Reiter ‚Körpermodell und Grundstück‘ und den Befehl ‚Gelände‘ über ‚Import erstellen‘ und ‚Punktedatei angeben‘ importiert und mit dem grünen Haken bestätigt. Möglich sind hier die Dateiformate .csv und .txt. Der Projekt-Basispunkt des Geländemodells liegt

auf 0,0,0. Anschließend wird der ‚Shared Reference Point‘ importiert und über die Verwaltung von ‚Ort und Grundstück‘ als Standort aktuell gesetzt. So liegt das Geländemodell georeferenziert vor (s. Abb. 52) und kann als DWG-Datei exportiert werden.

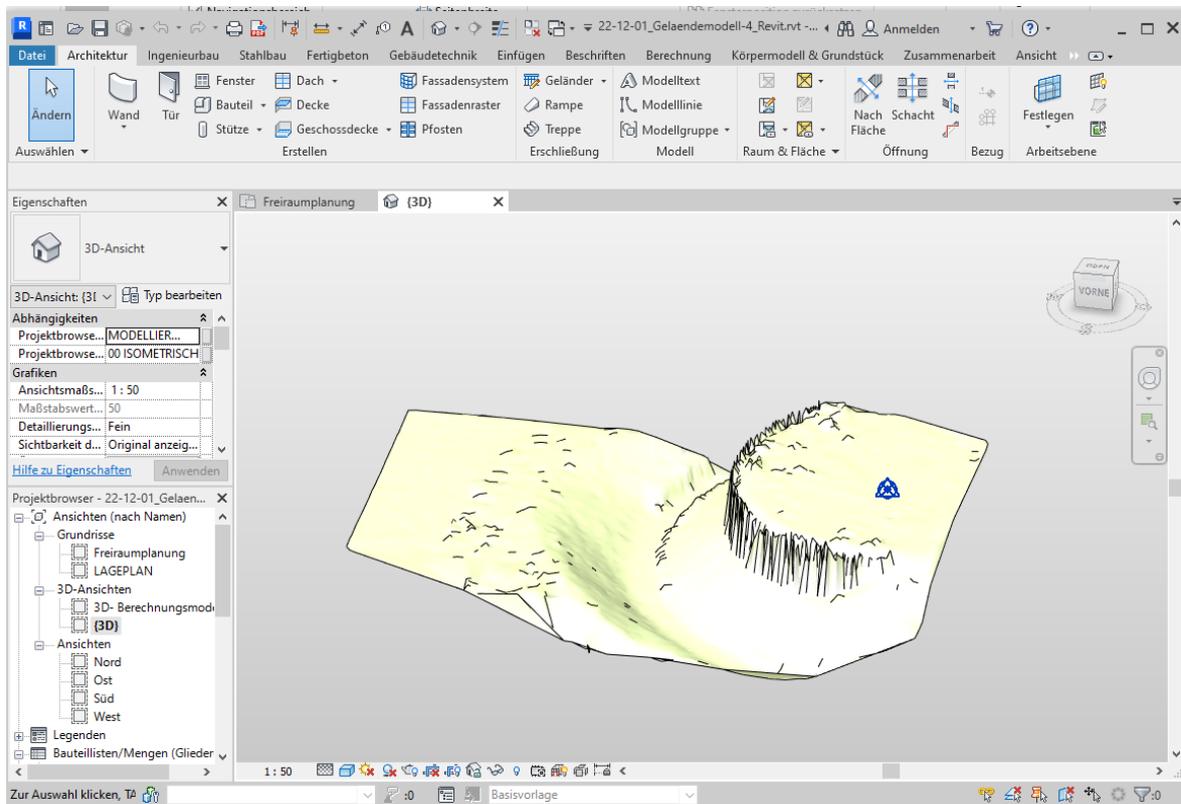


Abbildung 52: Geländemodell 4 in Autodesk Revit. EIGENE DARSTELLUNG.

6.6 Graphisoft ArchiCAD – Geländemodell 5

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 5

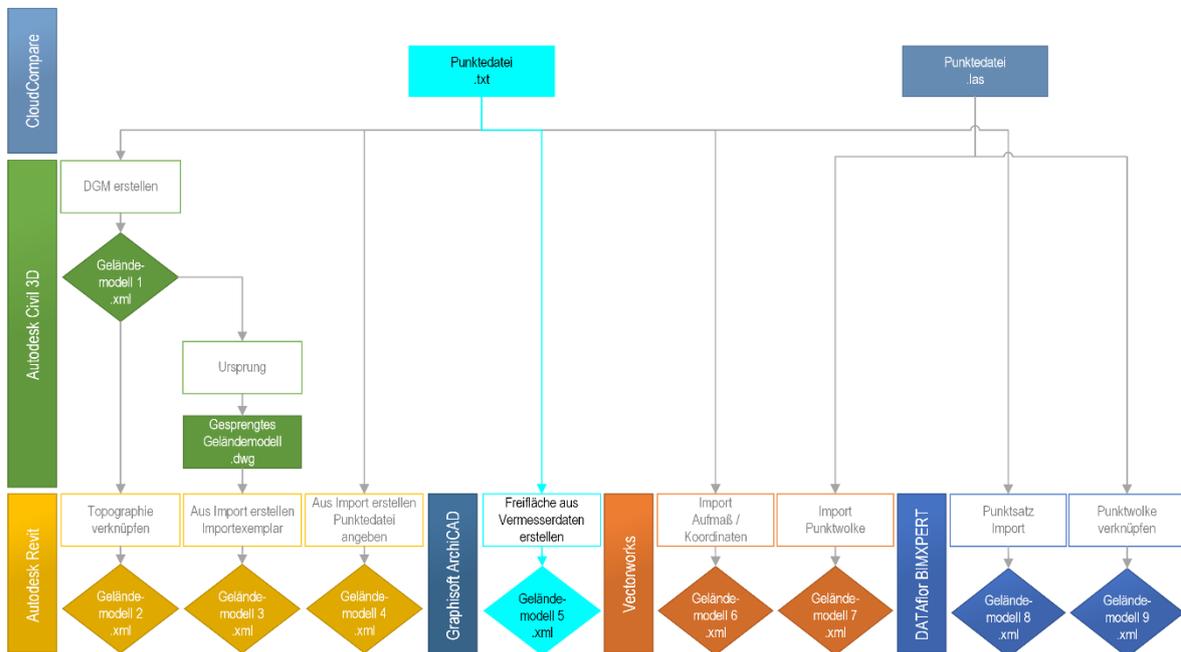


Abbildung 53: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Das fünfte Geländemodell wird in der Software Graphisoft ArchiCAD erstellt. Neben dem im Folgenden vorgestellten Weg über Vermesser-Daten bietet ArchiCAD ebenfalls die Möglichkeit eine Punktwolke zu importieren. Aus dieser ist es allerdings nicht möglich eine sogenannte ‚Freifläche‘, also ein Geländemodells zu erstellen, sodass dieser Workflow in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet wird.

In ArchiCAD ist es möglich die Vermesser-Daten direkt georeferenziert in das Projekt zu laden. Es muss kein Projekt-Basispunkt definiert werden. Dafür wird der Befehl ‚Freifläche aus Vermesser-Daten erstellen‘ angewandt. Hier ist es möglich zwischen den Dateiformaten .txt und .xyz zu wählen. Achtung, die Software benötigt eine Punktedatei, in der ausschließlich Rechts-, Hochwert und Punkthöhe definiert sind. Zusätzliche RGB-Werte müssen z. B. über das Anlegen einer Excel-Datei gelöscht werden. In den folgenden Einstellungen werden die Einheit in Meter und die Platzierung ‚Original-Position‘ angegeben und bestätigt. In der 3D-Ansicht erscheint nun ein Geländemodell mit einem Massivkörper. Dieser kann in den Einstellungen für die Freiflächen-Auswahl angewählt werden. Für den Vergleich der Modelle wird nur die Oberfläche des Modells benötigt. Zusätzlich kann das automatisch erstellte Schraffurmuster ausgeschaltet werden, da dieses ansonsten mit exportiert

wird und später gelöscht werden muss. Folglich ist das fertig erstellte Geländemodell 5 dargestellt (s. Abb. 54).

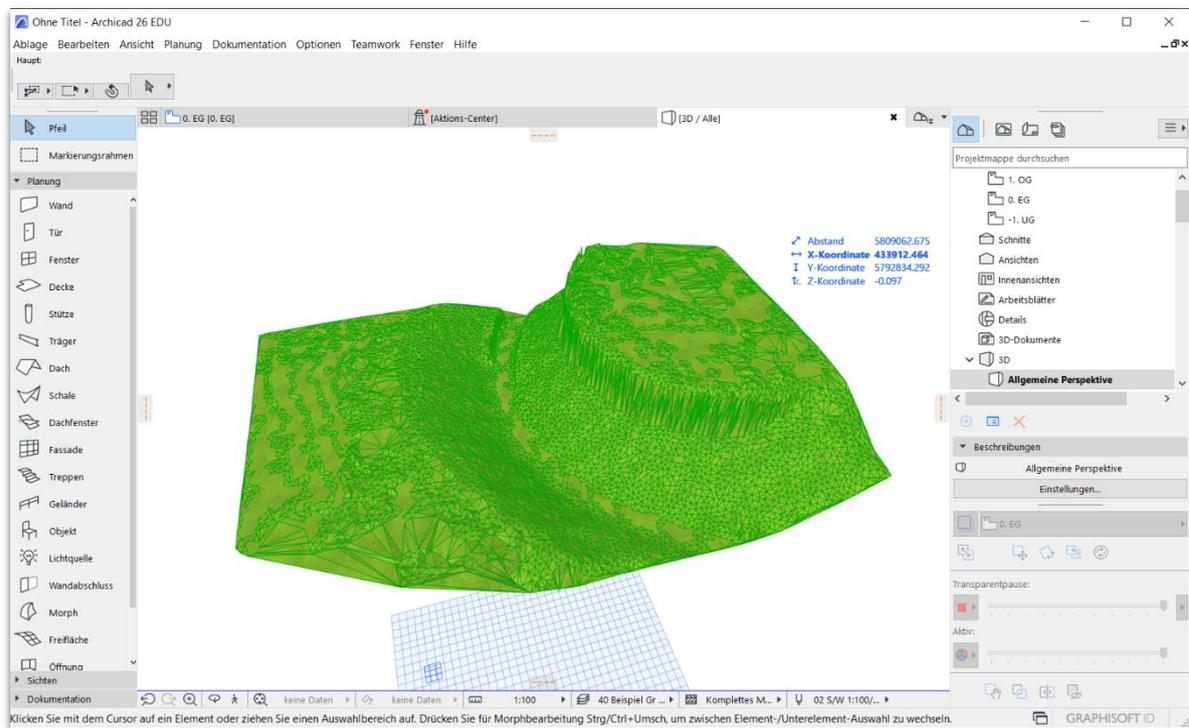


Abbildung 54: Geländemodell 5 in Graphisoft ArchiCAD. EIGENE DARSTELLUNG.

6.7 Vectorworks – Geländemodelle 6 und 7

6.7.1 Geländemodell 6 – ‚Import Aufmaß / Koordinaten‘

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 6.1

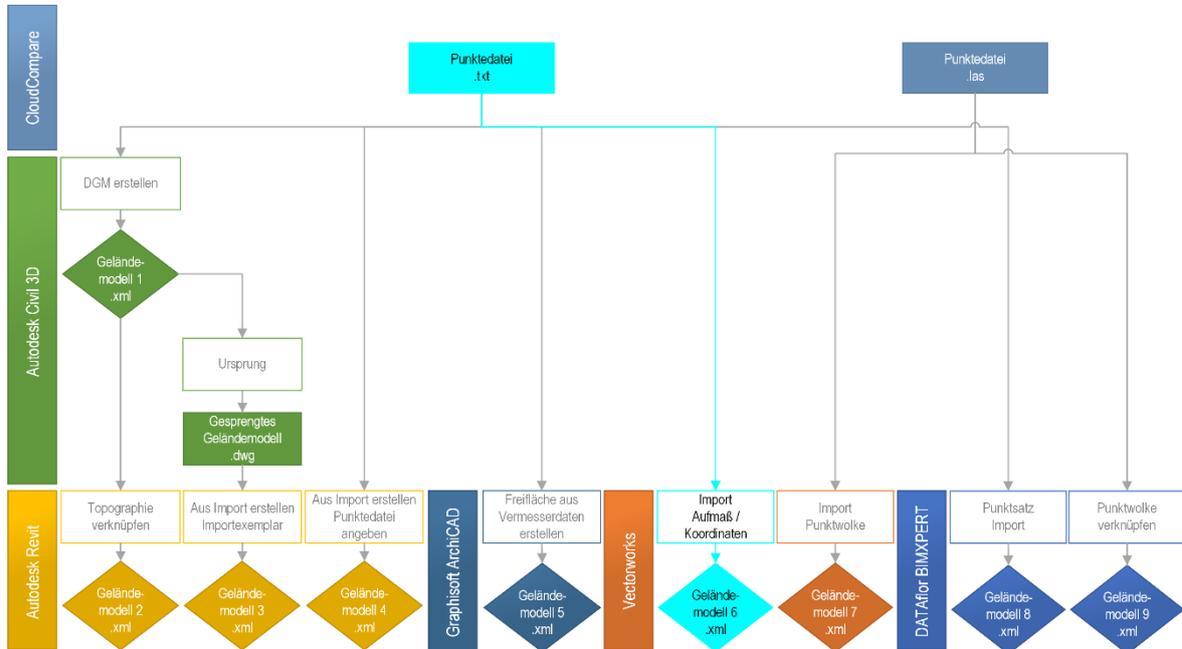


Abbildung 55: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Auch in Vectorworks ist es nicht nötig einen Projekt-Basispunkt zu definieren, um ein Geländemodell georeferenziert erstellen zu können. Eine erste Möglichkeit für den Import einer Punktdatei bietet der Befehl ‚Import Aufmaß / Koordinaten‘. Über diesen Befehl kann eine Vielzahl an Dateiformaten gewählt werden. Der Import erstellt nicht direkt ein Geländemodell, sondern einzelne Vermesserpunkte. Diese müssen markiert und über den Befehl ‚Geländemodell‘ und ‚Modell aus Ausgangsdaten anlegen‘ in ein Geländemodell konvertiert werden. In den Einstellungen zum Geländemodell ist es möglich über die 3D-Darstellung nur die Oberfläche des Modells zu erhalten und diese im DWG-Format zu exportieren. In untenstehender Abbildung ist das Geländemodell 6 abgebildet (s. Abb. 56).

Im Gegensatz zu ArchiCAD ist es in Vectorworks möglich, ein Geländemodell aus einer importierten Punktwolke zu erstellen. Dafür wird der Befehl ‚Import Punktwolke...‘ aufgerufen. Hier sind viele Formate wählbar (s. Abb. 58).



Abbildung 58: Wählbare Dateiformate – Import Punktwolke. EIGENE DARSTELLUNG.

In CloudCompare wurde neben einer .txt-Datei eine .las-Datei erzeugt, welche hier ausgewählt wird. In den Importeinstellungen der Punktwolke (s. Abb. 59) wird an oberster Stelle die Anzahl der zu importierenden Punkte angezeigt. Darunter befindet sich ein Schieberegler, mit dem es möglich ist, die Punktwolke bereits vor Erstellung der Punktwolke über einen prozentualen Anteil zu reduzieren. Die Einheit muss auf Millimeter stehen, damit das Programm die Punktwolke korrekt im Koordinatensystem verorten kann.

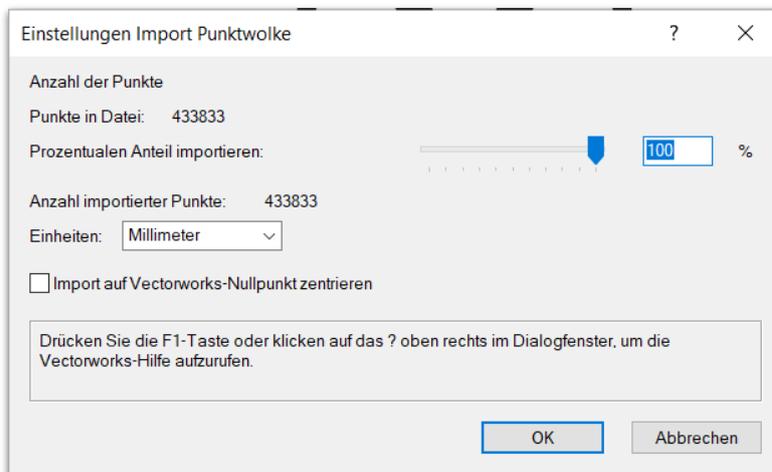


Abbildung 59: Dialogfenster – Einstellungen Import Punktwolke. EIGENE DARSTELLUNG.

Anschließend wird die Punktwolke markiert und der Befehl ‚Geländemodell‘ und ‚Modell aus Ausgangsdaten anlegen‘ ausgewählt. Es öffnet sich erneut ein Fenster, in welchem die Punkteanzahl vor der Erstellung über einen Schieberegler reduziert werden kann. Über die Geländemodell-Einstellungen ist es möglich, nur die reine Oberfläche im DWG-Format zu exportieren. Abbildung 60 zeigt das Ergebnis dieses Workflows.

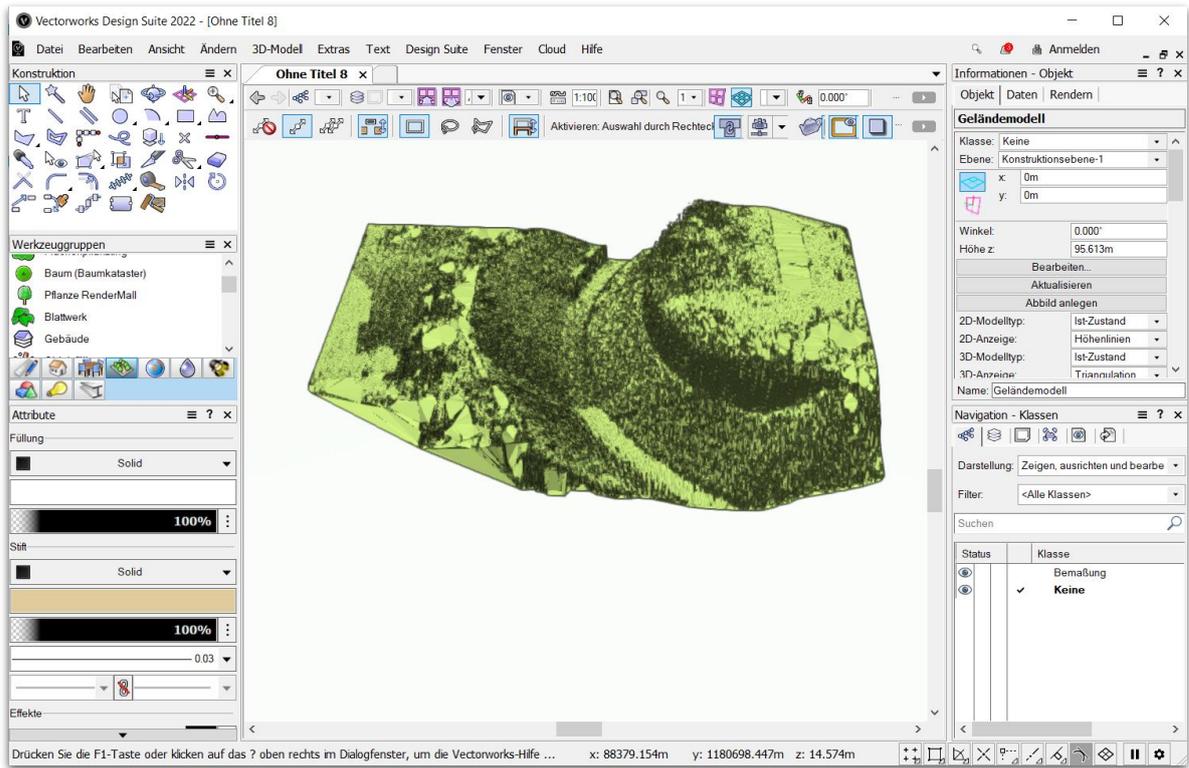


Abbildung 60: Geländemodell 7 in Vectorworks. EIGENE DARSTELLUNG.

6.8 DATAflor BIMXPRT – Geländemodelle 8 und 9

6.8.1 Geländemodell 8 – Quick-DGM

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 7.1

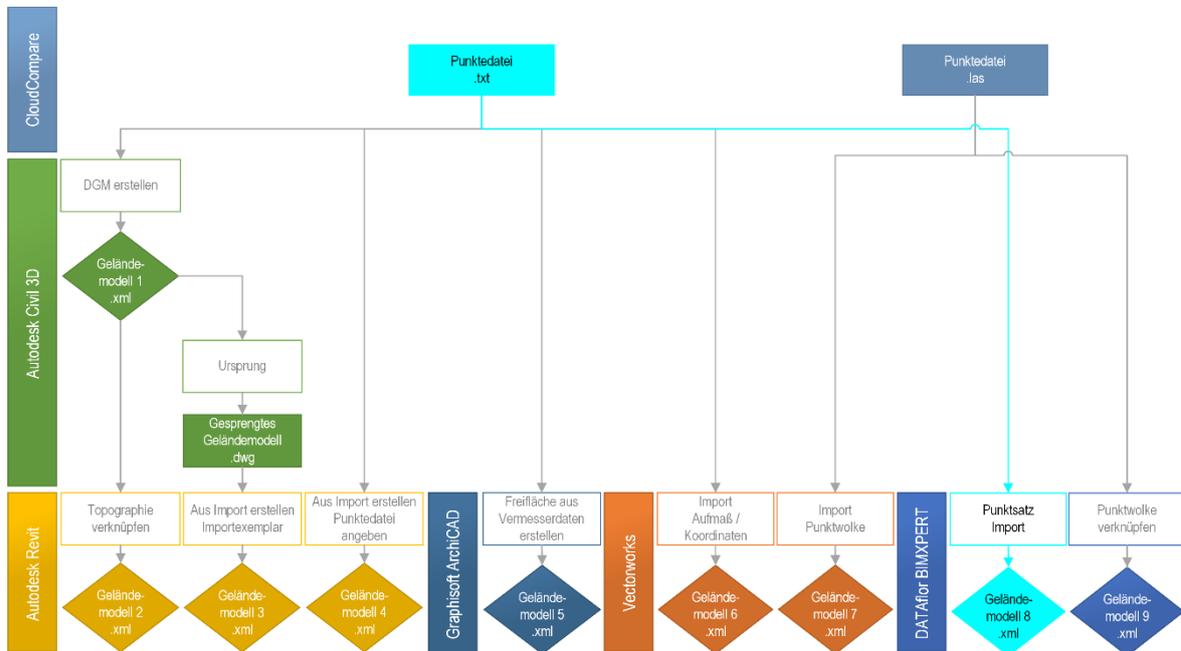


Abbildung 61: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Eine Möglichkeit der Erstellung eines Geländemodells in BIMXPRT ist das von DATAflor entwickelte ‚Quick-DGM‘. In einem ersten Schritt wird die Punktdatei über den eingegebenen Befehl ‚PIMPORT‘ importiert. Es erscheint ein Dialogfenster, in dem Einstellungen zur Punktdatei vorgenommen werden können. Wichtig ist, dass hier eine Punktdatei genutzt wird, die ausschließlich Rechts-, Hochwert und die Punkthöhe enthält. Eine Datei mit zusätzlichen RGB-Werten konnte das System nicht verarbeiten. Diese können über eine Excel-Tabelle gelöscht werden. Für den Import können verschiedene Dateiformate gewählt werden (s. Abb. 62).



Abbildung 62: Dateiformate – Import Punktsatz. EIGENE DARSTELLUNG.

Wie in Civil 3D kann hier noch einmal die richtige Reihenfolge der Werte überprüft und ggf. angepasst werden. Mit der Bestätigung werden die einzelnen Punkte in die Datei importiert. Über das Quick-DGM wird nun aus der Punktedatei über einen Rechtsklick eine Triangulation erstellt. Triangulation und Punkte sollten auf unterschiedliche Layer sortiert werden, um den Punkte-Layer nach Bedarf ausschalten zu können. Die Datei wird folglich als DWG-Datei abgespeichert. Im Folgenden ist das Geländemodell 8 abgebildet (s. Abb. 63).

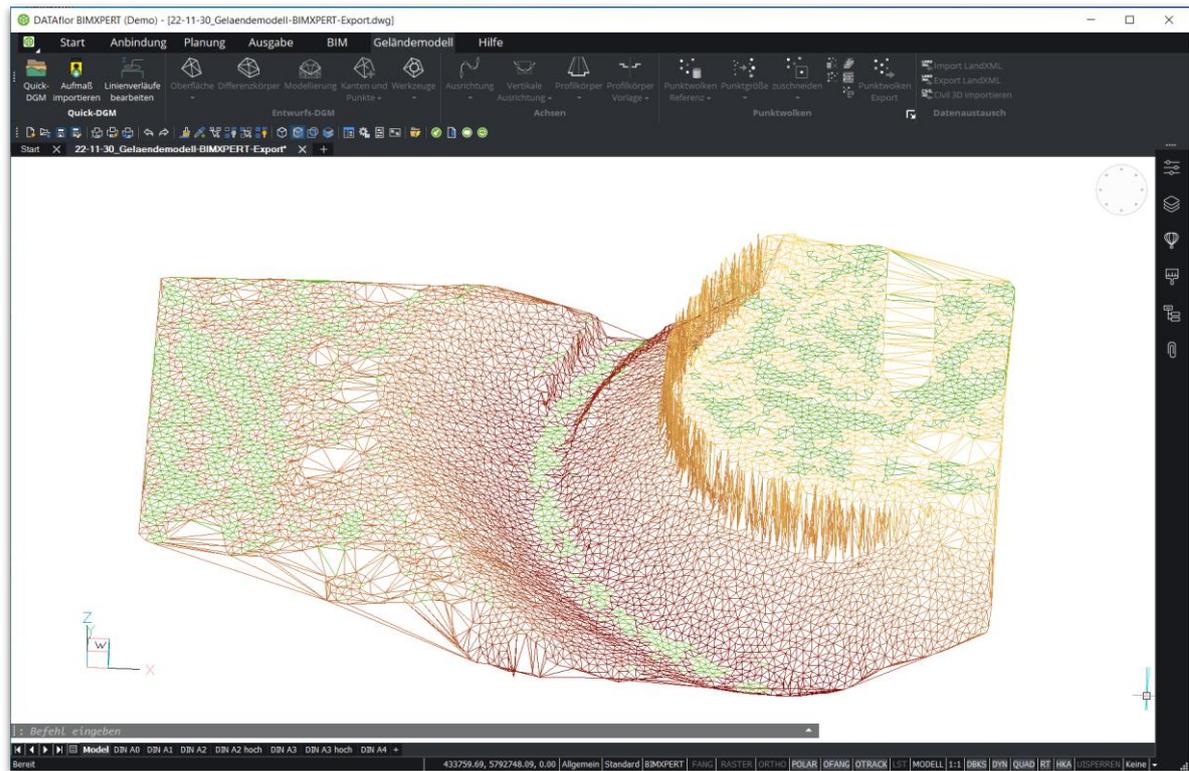


Abbildung 63: Geländemodell 8 – Quick-DGM. EIGENE DARSTELLUNG.

6.8.2 Geländemodell 9 – BricsCAD

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 7.2

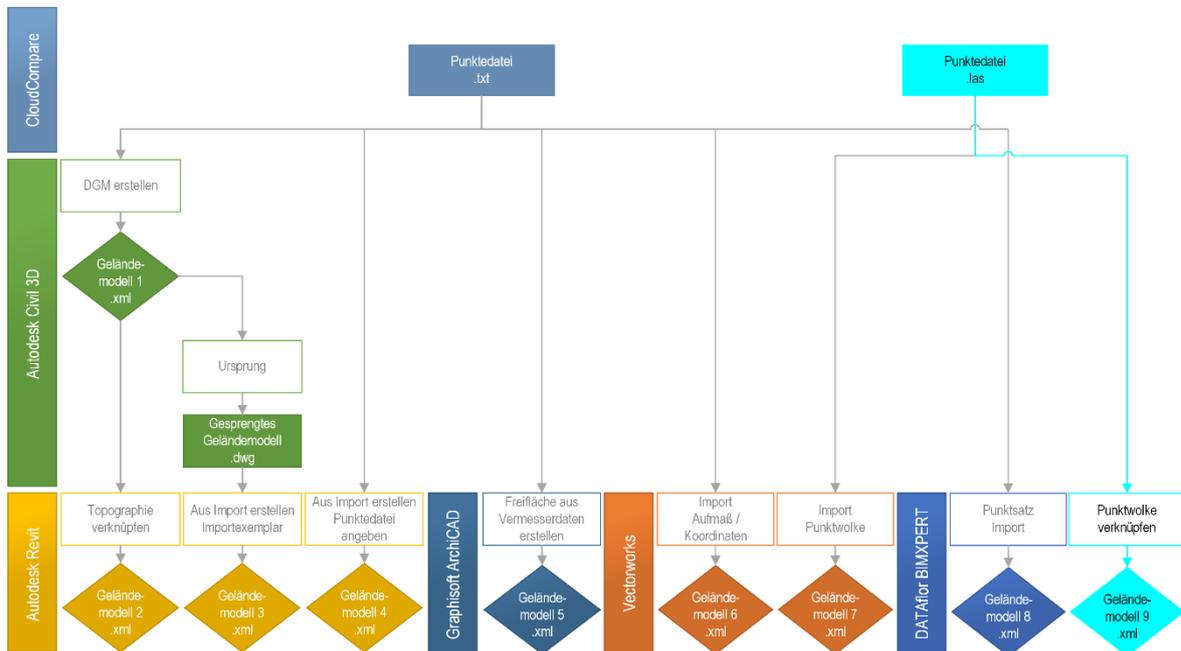


Abbildung 64: Übersicht Workflow – Erstellung der Digitalen Geländemodelle. EIGENE DARSTELLUNG.

Das neunte Geländemodell wird in der Software BIMXPRT erstellt. Über den Reiter ‚Geländemodell‘ ist der Befehl ‚Punktwolke anhängen‘ zu finden. Dieser wird ausgewählt. Es werden einige Punktwolkenformate unterstützt (s. Abb. 65)

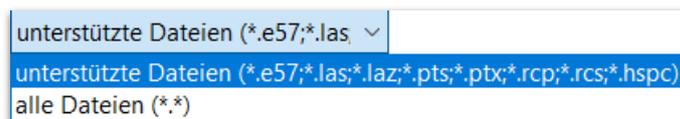


Abbildung 65: Mögliche Dateiformate – Punktwolke anhängen. EIGENE DARSTELLUNG.

Hier wird das Format .las gewählt. Die folgenden Voreinstellungen werden nicht verändert und bestätigt. Um aus der angehängten Punktwolke ein Geländemodell erstellen zu können, muss über den Reiter ‚Geländemodell‘ der Befehl ‚Oberfläche‘ ausgewählt werden. Dieser Befehl erstellt eine TIN-Oberfläche. Es wird abgefragt, ob die TIN-Oberfläche vereinfacht werden soll. Diese Frage wird mit ‚Nein‘ bestätigt. Über die Projektstruktur kann die angehängte Oberfläche als Objekt gelöscht werden. Die TIN-Oberfläche bleibt erhalten und kann über den Befehl ‚Ursprung‘ gesprengt werden. So wird aus dem Proxy der TIN-Oberfläche ein Block erstellt, der als DWG-Datei abgespeichert werden.

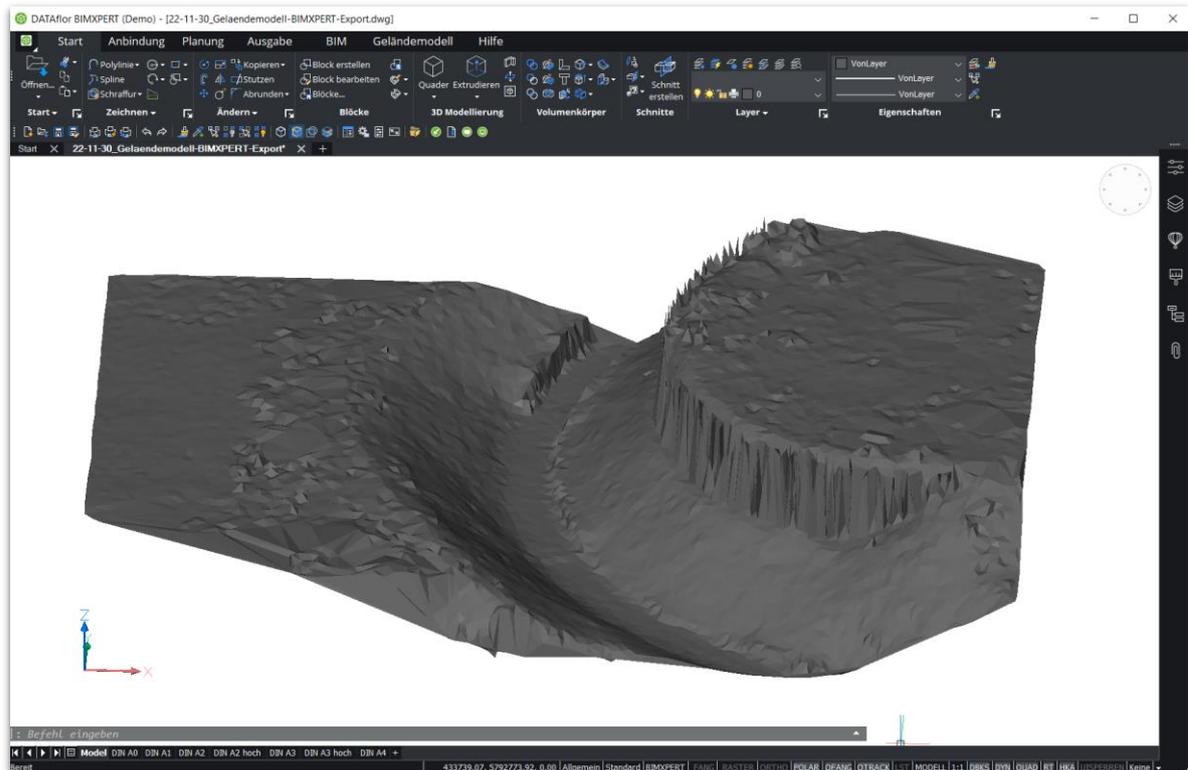


Abbildung 66: Geländemodell 9 – BricsCAD. EIGENE DARSTELLUNG.

6.9 Revit ‚Environment‘

Das Plug-in ‚Environment‘ für Autodesk Revit enthält speziell für die Landschaftsarchitektur entwickelte Werkzeuge für die Bearbeitung von Geländemodellen. Einige dieser Werkzeuge werden in diesem Kapitel für die Weiterbearbeitung des Geländemodells im Rahmen des Fachmodells ‚Freiraumplanung‘ an typischen Objekten dieser Fachdisziplin getestet und dokumentiert.

Der Befehl ‚Shape by Topography‘ (s. Abb. 67) der Kategorie ‚Model Elements‘ ermöglicht, eine modellierte Geschossdecke auf die Oberfläche einer Topographie zu projizieren. Dabei wird die oberste Schicht der Geschossdecke auf Höhe des Geländemodells platziert. Die projizierte Geschossdecke kann folglich in ihrer Höhe bearbeitet und angepasst werden.

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 8.1

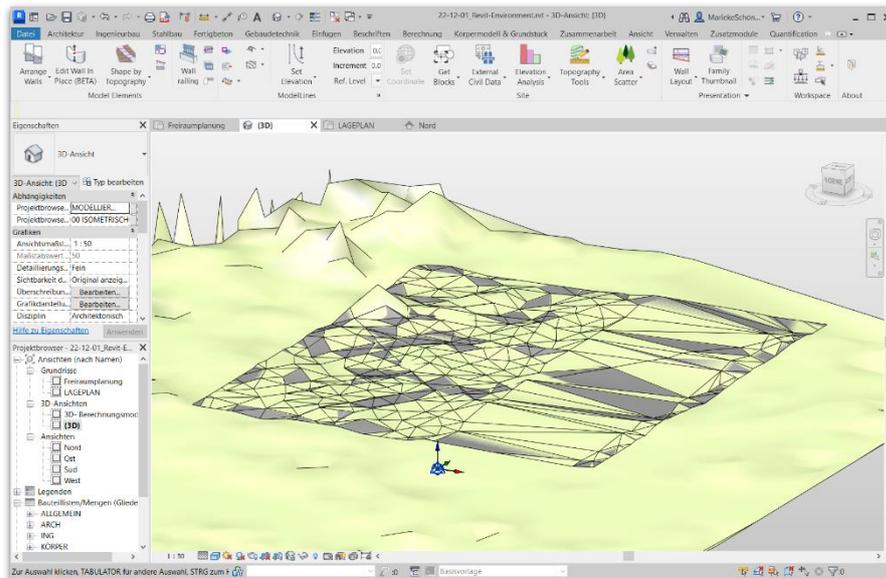


Abbildung 67: Ergebnis des Befehls ‚Shape by Topography‘. EIGENE DARSTELLUNG.

Mit den ersten Befehlen der Kategorie ‚Model Elements‘ ist es möglich, Mauern in das Geländemodell zu integrieren. So kann eine Mauer auf die Oberfläche des Geländemodells projiziert (‚Arrange Walls‘ - s. Abb. 68) und in mehrere Abschnitte entsprechend der Höhenstufen unterteilt werden. Es muss darauf geachtet werden, dass dieser Befehl nur in der 3D-Ansicht ausgeführt werden kann. Diese Abschnitte können anschließend einzeln bearbeitet und in ihrer Höhe angepasst werden (‚Stretch Walls‘ - s. Abb. 69). Ein weiterer Befehl ermöglicht es, eine Mauer in einzelne Abschnitte zu unterteilen, feste Zwischenräume zwischen den Abschnitten zu definieren und diese über einen Winkel zu drehen. (‚Approximate Wall Path‘ - s. Abb. 70). Mit dem Tool ‚Wall railing‘ (s. Abb. 71) können auf einzelne Mauerscheiben Geländer platziert werden.

Ausführliche Beschreibung der Workflows: Anhang 1 Kap. 8.2 – 8.5

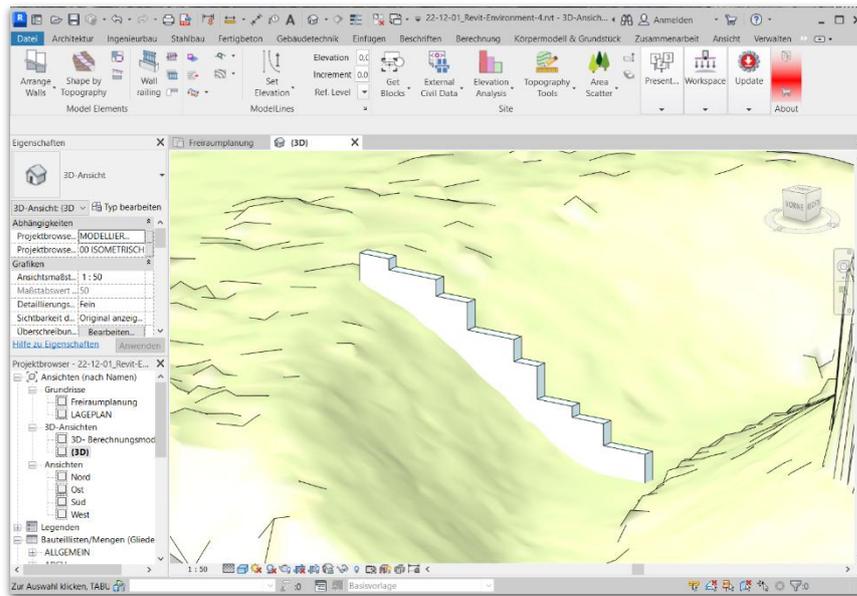


Abbildung 68: Ergebnis des Befehls ‚Arrange Walls‘. EIGENE DARSTELLUNG.

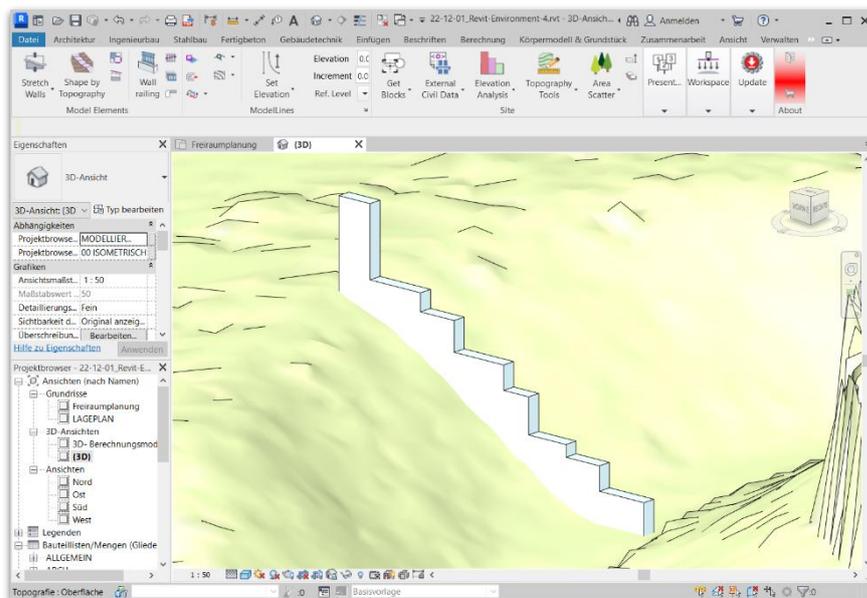


Abbildung 69: Ergebnis des Befehls ‚Stretch Walls‘. EIGENE DARSTELLUNG.

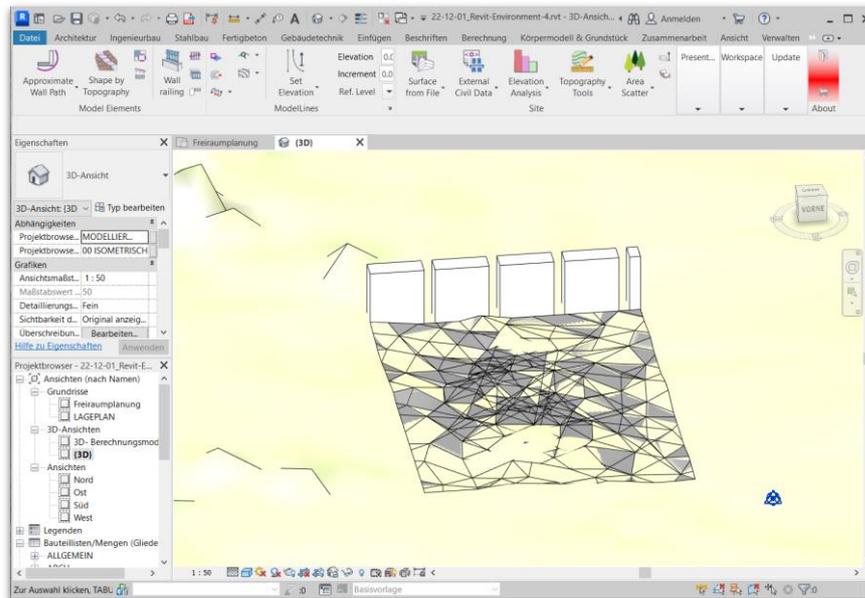


Abbildung 70: Ergebnis des Befehls ‚Approximate Wall Path‘. EIGENE DARSTELLUNG.

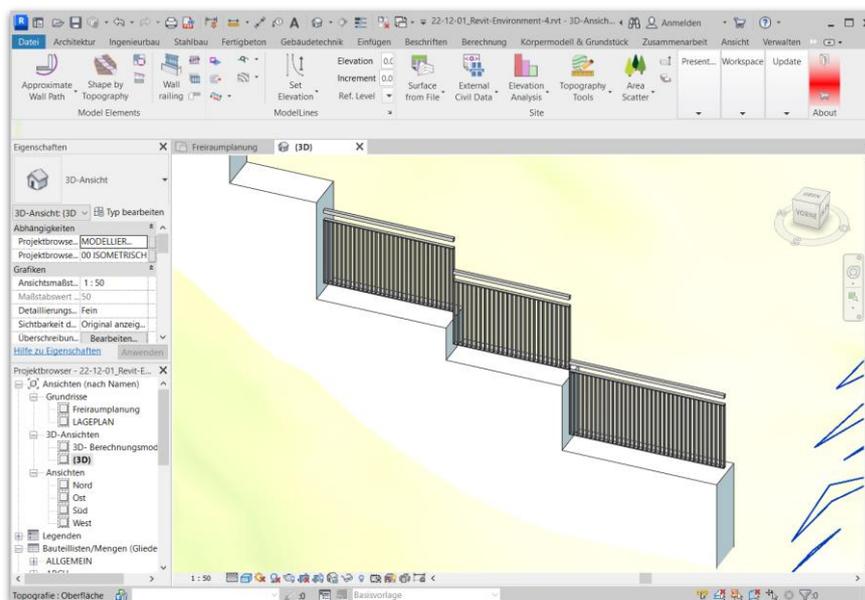


Abbildung 71: Ergebnis des Befehls ‚Wall railing‘. EIGENE DARSTELLUNG.

Ein letzter getesteter Befehl ‚Paste curb‘ der Kategorie ‚Model Elements‘ kann über die Verknüpfung eines vordefinierten oder selbst erstellten Profils einen Kantenstein entlang einer Geschossdecke mit verschiedenen Höhen erstellen (s. Abb. 72). Im Gegensatz zum Revit-Befehl ‚Geländer‘ schneidet dieses Tool gleichzeitig eine Öffnung in Form des Kantensteins aus dem Geländemodell.

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 8.6

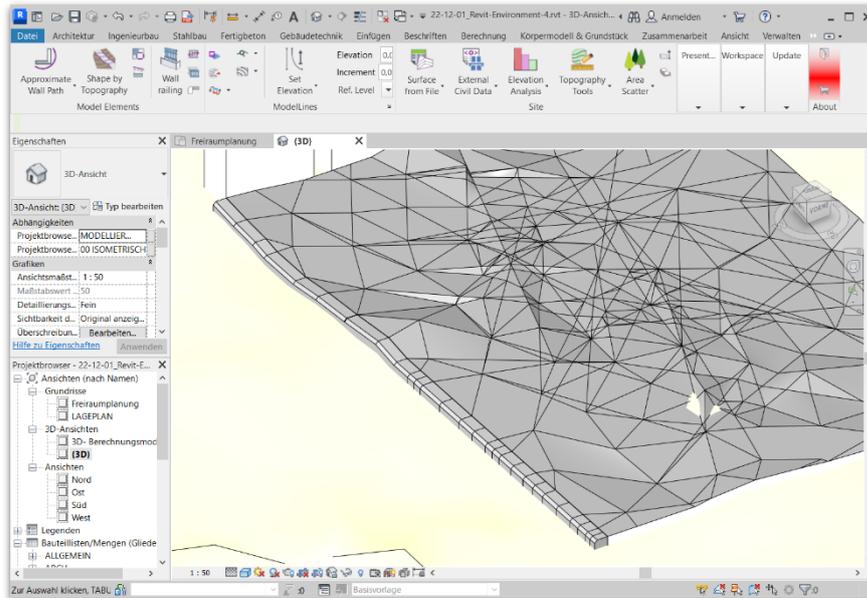


Abbildung 72: Ergebnis des Befehls ‚Paste curb‘. EIGENE DARSTELLUNG.

Die nächsten Befehle stammen aus der Kategorie ‚Site‘. Über die sogenannten ‚Topography Tools‘ kann die Oberfläche des Geländemodells direkt bearbeitet werden. So ist es beispielsweise möglich, über ‚Place Point‘ einzelne Punkte hinzuzufügen (s. Abb. 73). Weitere Befehle beziehen sich auf die Integration importierter oder selbst erstellter Höhenlinien.

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 8.7

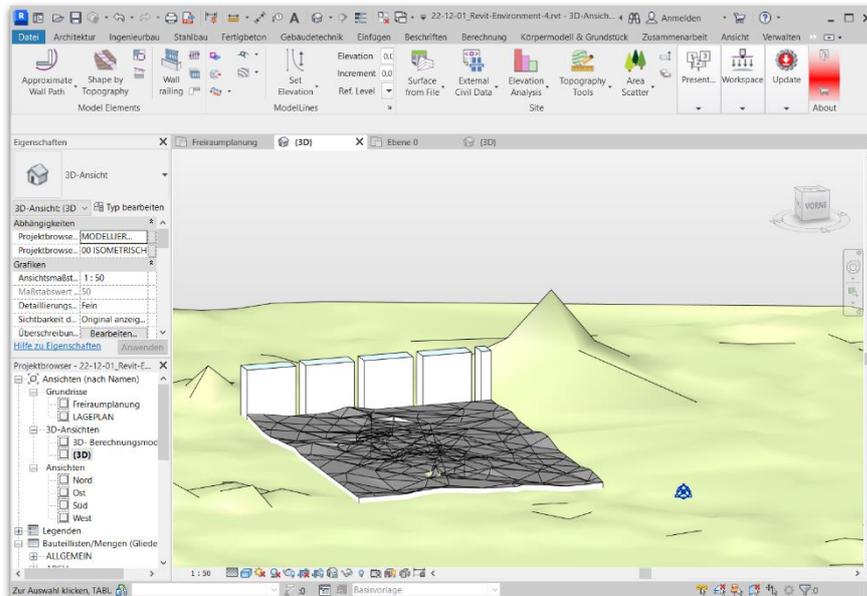


Abbildung 73: Ergebnis des erstellten Hügels über den Befehl ‚Place Point‘. EIGENE DARSTELLUNG.

Ebenfalls in der Gruppe ‚Site‘ sind die ‚Modify Topography‘-Befehle zu finden. Über drei verschiedene Werkzeuge kann das Geländemodell geglättet werden (‚Smooth Geometry‘ - s. Abb. 74), es kann Gelände auf dem gesamten Modell auf- oder abgetragen werden (‚Inflate surface‘ - s. Abb. 75) und spezifische Bereiche auf- oder abgetragen werden (‚Shape by Point‘ - Abb. 76).

Ausführliche Beschreibung der Workflows: Anhang 1 Kap. 8.8 – 8.10

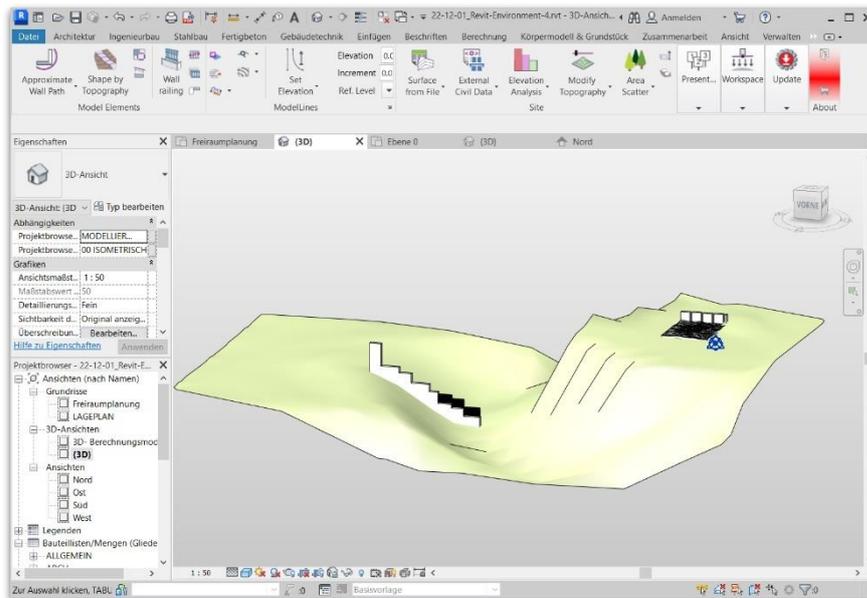


Abbildung 74: Ergebnis Befehl ‚Smooth Geometry‘. EIGENE DARSTELLUNG.

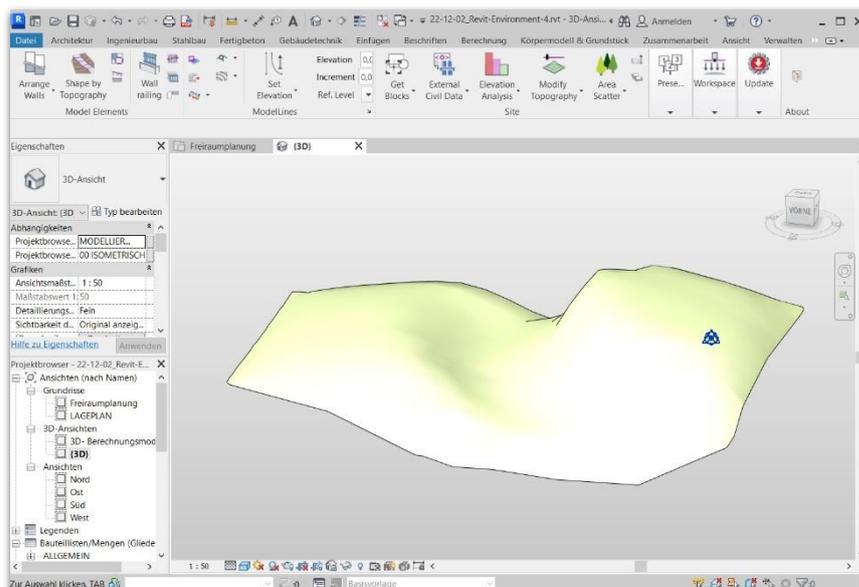


Abbildung 75: Ergebnis Befehl ‚Inflate surface‘. EIGENE DARSTELLUNG.

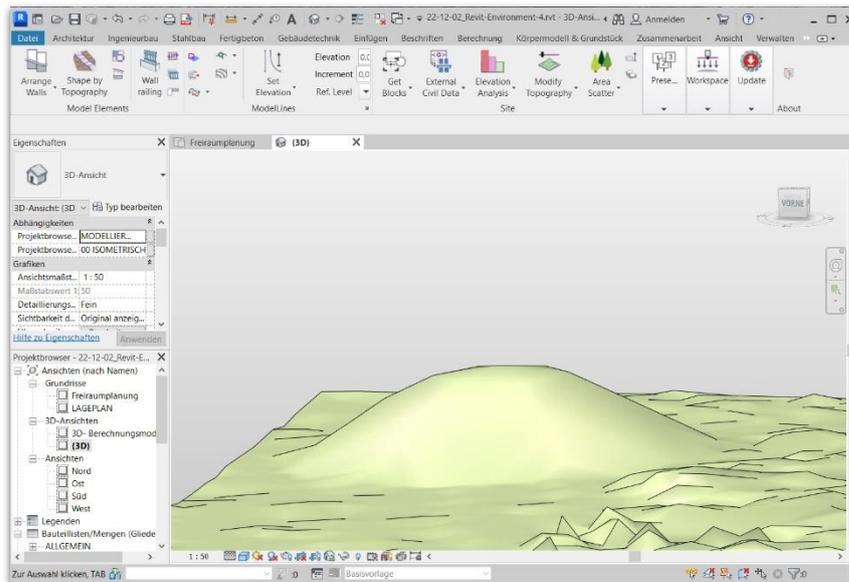


Abbildung 76: Ergebnis Befehl ‚Shape by Point‘. EIGENE DARSTELLUNG.

In einem letzten Abschnitt wird der Befehl ‚Set Coordinate‘ getestet. Über ‚Set Coordinate‘ ist es möglich, dem Projekt-Basispunkt Koordinaten und ein Koordinatenreferenzsystem zuzuweisen. Dabei können drei verschiedene Einstellmöglichkeiten genutzt werden. Der erste Weg ist über die ‚Standort-Definition‘ anhand von Längen- und Breitengrad. Des Weiteren ist eine Definition über eine ‚Projektadresse‘, ebenfalls über Längen- und Breitengrad, als auch über einen ‚Shared Reference Point‘ möglich. Nutzt man die Möglichkeit des ‚Shared Reference Points‘ muss darauf geachtet werden, dass bei den Einstellungen zum Koordinatensystem für ‚Additional actions‘ die Auswahl ‚Repair existing coordinate system‘ getroffen wird. Dadurch wird unter anderem der Höhenwert aus dem Referenzpunkt abgegriffen. Der Vorteil die Koordinaten über den Befehl ‚Set Coordinate‘ zu definieren, besteht in der Angabe des Koordinatenreferenzsystems. Für einen Export in IFC 4 werden die Angaben zum EPSG-Code und Namen des Koordinatenreferenzsystems direkt in den IFC-Einstellungen übernommen und müssen nicht händisch eingetragen werden. Falls automatisch generierte Angaben nicht korrekt sind, können diese über eine Überschreibung geändert werden.

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 8.11



Abbildung 77: Ergebnis Geländemodelle.
EIGENE DARSTELLUNG.

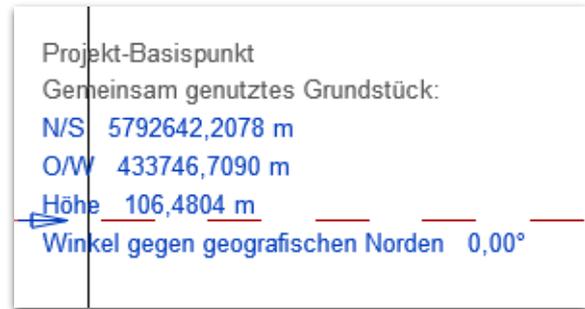


Abbildung 78: Ergebnis 1-3 ‚Set Coordinate‘.
EIGENE DARSTELLUNG.

7 VERGLEICH DER GELÄNDEMDELLE ANHAND AUSGEWÄHLTER METHODEN

7.1 Trianguliertes Mengenmodell

Ausführliche Beschreibung der Workflows: Anhang 1 Kap. 9

Aus zwei Digitalen Geländemodellen kann in Autodesk Civil 3D ein Trianguliertes Mengenmodell abgeleitet werden. Dieses Modell ergibt Aufschluss über Unterschiede zwischen dem Urgelände und dem Vergleichs-DGM. Jeder enthaltene Höhenpunkt entspricht der Differenz zwischen den Höhenpunkten beider Geländemodelle. Als Urgelände wird für alle Vergleiche das Geländemodell 1 aus Civil 3D gewählt. Dem gegenüber stehen als Vergleichs-DGM alle weiteren erzeugten Geländemodelle. Somit entstehen insgesamt acht Triangulierte Geländemodelle. Neben dem Modell entsteht eine Statistik, in der die Differenzen in Form von Abtrags- und Auftragsmengen aufgeführt sind.

Die DWG-Datei des Geländemodells 1 bietet die Grundlage für diesen Workflow. Geländemodelle werden bei Erstellung auf dem Layer ‚C-TOPO‘ abgelegt. Deshalb wird in Vorbereitung auf die Zusammenführung eine Layerstruktur angelegt, bei der die zwei Vergleichsmodelle und das Triangulierte Geländemodell für eine erleichterte Arbeitsweise einen eigenen Layer erhalten. Anschließend muss die exportierte DWG-Datei des Vergleich-DGMs geöffnet und das enthaltende Objekt über eine ‚Kopie mit Basispunkt‘ in die Zwischenablage kopiert werden. Als Basispunkt wird 0,0,0 angegeben. Diese Kopie wird nun in die Ausgangsdatei des Geländemodells 1 am Einfügepunkt 0,0,0 eingefügt. Die DWG-Objekte liegen je nach Exporteinstellungen der BIM-Softwares mit unterschiedlichen Eigenschaften vor. Die Definition der Geländemodelle in Civil 3D erfolgt über ‚Zeichnungsobjekte‘ (s. Abb. 79).

Die Objekte 2-4 aus Revit bestehen aus einem sogenannten Vielflächennetz. Für diese muss bei der Definition des Geländemodells der Objekttyp ‚Polygonnetz‘ gewählt werden.

Die Objekte aus ArchiCAD und Vectorworks liegen als Blockreferenzen vor. Diese müssen einmal über den Befehl ‚Ursprung‘ gesprengt werden, sodass ebenfalls Vielflächennetze entstehen, die als Objekttyp ‚Polygonnetz‘ erkannt werden.

Die Modelle 8 und 9 aus BIMXPRT sind Proxy-Elemente. Das Objekt 8 muss zwei Mal mit ‚Ursprung‘ gesprengt werden, um aus einfachen Linien zu bestehen. Das Objekt 9 muss

dafür nur einmal gesprengt werden. Als Objekttyp muss hier in der Definition ‚Linien‘ angegeben werden.

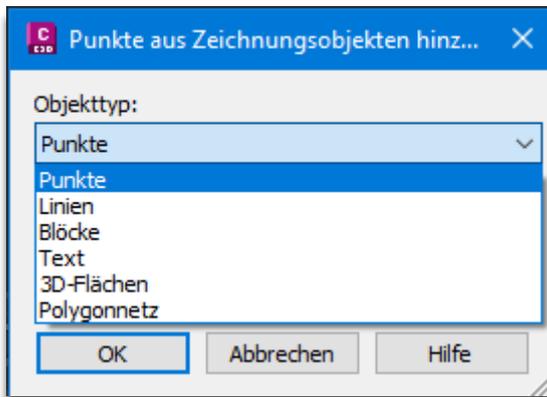


Abbildung 79: Mögliche Objekttypen für die Definition eines DGMs über Zeichnungsobjekte. EIGENE DARSTELLUNG.

Ist das DWG-Objekt in ein Geländemodell überführt, kann das Triangulierte Mengenmodell erstellt werden. Dieses findet wie die Erstellung eines Triangulierten Geländemodells über die Übersicht im Projektbrowser statt. Mit der Auswahl ‚DGM erstellen‘ kann der Typ ‚Trianguliertes Mengenmodell‘ ausgewählt werden. Nun müssen ein Urgelände und ein Vergleichs-DGM ausgewählt werden. Mit Bestätigung der Eingaben wird das Modell erstellt. In den DGM-Eigenschaften befindet sich über den Reiter Statistiken eine Auswertung in Zahlen, die als erste Grundlage eines Vergleichs dienen kann (s. Abb. 80).

Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	429189
Mindestwert für X-Koordinate	433691.960m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.234m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.863m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.075m
Mindesthöhe	-6.148m
Maximaler Höhenwert	3.987m
Mittlere Höhe	0.000m
TIN	
Anzahl Dreiecke	858221
Max. Dreieckfläche	10.40qm
Mindestwert für Dreieckfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.000m
Max. Dreieckslänge	15.559m
Menge	
Urgelände	01_Gelaendemodell-1_Civil3D
Vergleichs-DGM	02_Gelaendemodell-5_Vectorworks
Abtragsfaktor	1.000
Auftragsfaktor	1.000
Abtragsmenge (angepasst)	0.05 Kubikmeter
Auftragsmenge (angepasst)	0.01 Kubikmeter
Nettomenge (angepasst)	0.04 Kubikmeter <Abtrag>
Abtragsmenge (unangepasst)	0.05 Kubikmeter
Auftragsmenge (unangepasst)	0.01 Kubikmeter
Nettomenge (unangepasst)	0.04 Kubikmeter <Abtrag>

Abbildung 80: Statistik zum Triangulierten Mengenmodell. EIGENE DARSTELLUNG.

7.2 Höhenpläne mit Längsschnitten

Ausführliche Beschreibung des Workflows: Anhang 1 Kap. 10

Die zweite Möglichkeit eines Vergleichs der Geländemodelle erfolgt über mehrere Längsschnitte, die in Höhenplänen abgebildet werden. Die Auswahl der Schnitfführung, das typische Höhenverläufe erfasst werden und damit das Gesamt-DGM prototypisch erfasst wird. Als Grundlage wird die jeweilige zuvor erzeugte Datei mit Urgelände und Vergleichs-DGM genutzt. In Vorbereitung werden für die Erstellung von Achsen Schnittlinien anhand von Polylinien eingezeichnet. Die erstellten Achsen dienen als Grundlage für die Generierung der Längsschnitte. Um einen Längsschnitt zu erstellen, müssen neben der Achse die Geländemodelle angegeben werden, für die der Längsschnitt erzeugt werden soll. Für die Visualisierung der Längsschnitte werden diese in einen Höhenplan gezeichnet. In der Definition des Höhenplans können eine Abtrags- und eine Auftragsfläche gewählt werden. Die Ober- und Unterbegrenzung bilden die zwei vorher gewählten Geländemodelle. Für die

Darstellung der Flächen und Längsschnitte können verschiedene Farben und Schraffurmuster gewählt werden. Dabei sind Abtragsflächen in grün und Auftragsflächen in rot vordefiniert.

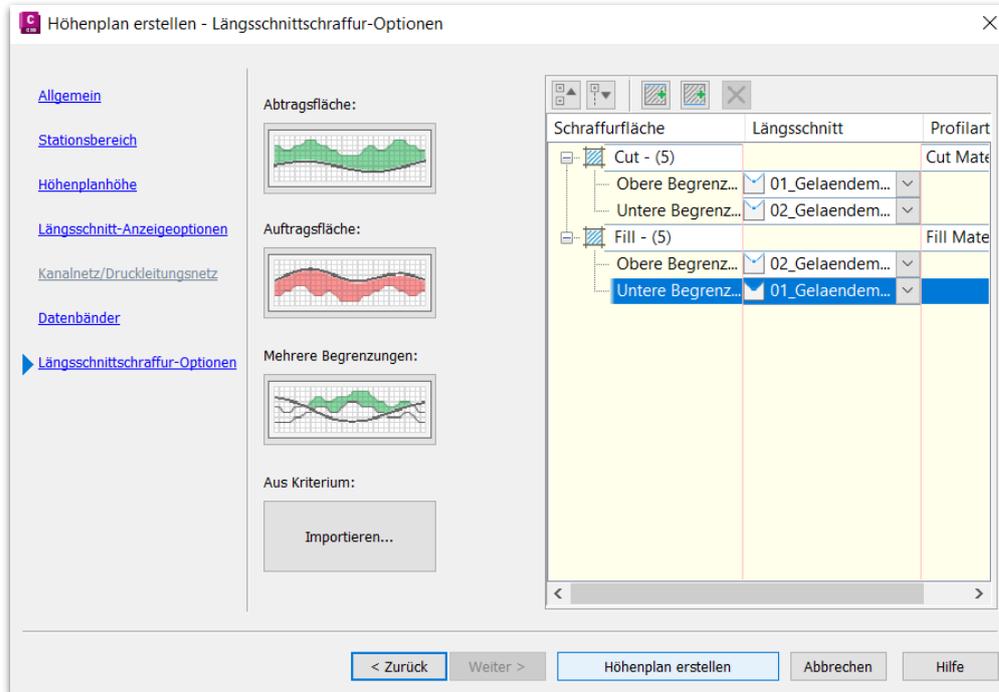


Abbildung 81: Einstellungen Höhenplan. EIGENE DARSTELLUNG.

Mit dem Befehl ‚Höhenplan erstellen‘ hängt die Zeichnung am Cursor und kann in der Modellansicht an einer gewünschten Stelle abgelegt werden. Diese Schritte werden für alle zu erstellenden Längsschnitte wiederholt. In den Höhenplänen kann anschließend visuell nachvollzogen werden, an welchen Stellen im Gelände besonders auffällige Abweichungen festzustellen sind.

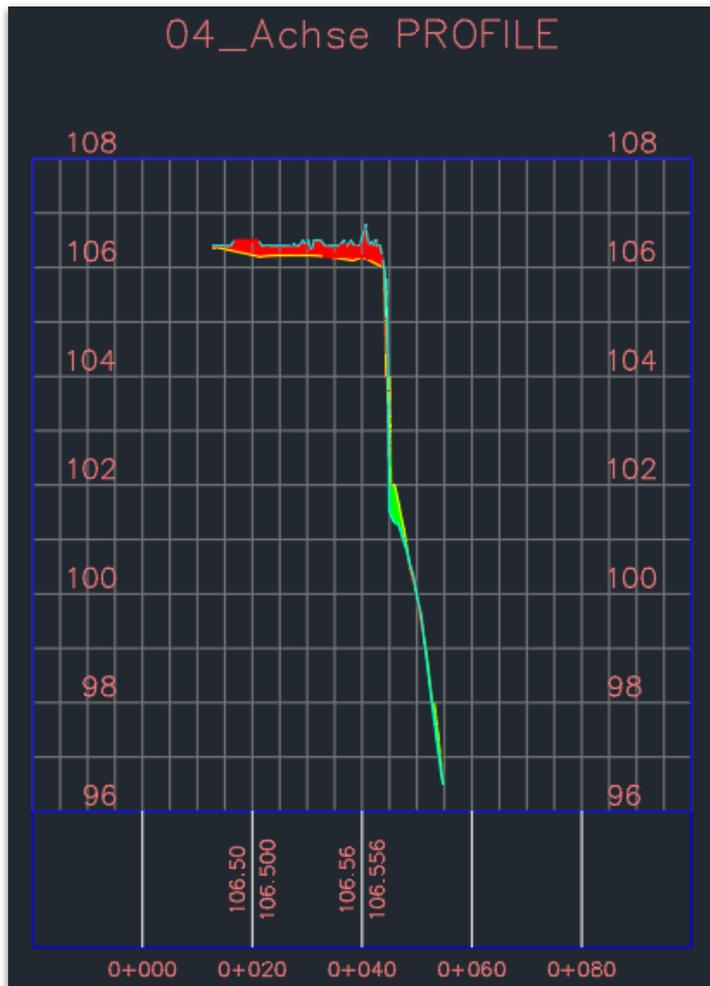


Abbildung 82: Erstellter Höhenplan. EIGENE DARSTELLUNG.

8 ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden die für die Geländemodelle 2-9 erstellten Höhenpläne dargestellt. Die im Folgenden benannten Längsschnitte 1-4 beziehen sich jeweils auf die in Abbildung 83 durchnummerierten Schnittachsen. In Abbildung 84 sind die Eigenschaften des Geländemodells 1 aus Autodesk Civil 3D abgebildet.

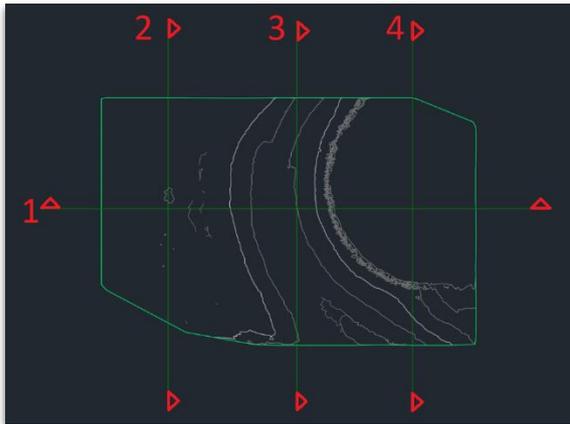


Abbildung 83: Übersicht – Schnittlinien. EIGENE DARSTELLUNG.

DGM-Eigenschaften - 01_Gelaendemodell-1_Civil3D	
Informationen Definition Analyse Statistiken	
Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	7082
Mindestwert für X-Koordinate	433692.000m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.200m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.900m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.100m
Mindesthöhe	95.600m
Maximaler Höhenwert	107.500m
Mittlere Höhe	101.804m
Erweitert	
2D-DGM	2509.92qm
3D-DGM	3374.43qm
Mindestneigung (prozentual/Verhältnis)	0.00%
Max. Neigung (prozentual/Verhältnis)	10121.26%
Mittlere Neigung (prozentual/Verhältnis)	458.20%
TIN	
Anzahl Dreiecke	14099
Max. Dreieckfläche	9.47qm
Mindestwert für Dreieckfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.100m
Max. Dreieckslänge	14.853m

Abbildung 84: DGM Eigenschaften – Geländemodell 1. EIGENE DARSTELLUNG.

8.1 Vergleich Autodesk Civil 3D und Autodesk Revit

8.1.1 Geländemodell 2 – ‚Topographie verknüpfen‘

8.1.1.1 DGM-Eigenschaften – Geländemodell 2

Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	7082
Mindestwert für X-Koordinate	433692.000m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.200m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.900m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.100m
Mindesthöhe	95.600m
Maximaler Höhenwert	107.500m
Mittlere Höhe	101.804m
Erweitert	
2D-DGM	2509.92qm
3D-DGM	3376.11qm
Mindestneigung (prozentual/Verhältnis)	0.00%
Max. Neigung (prozentual/Verhältnis)	10121.19%
Mittlere Neigung (prozentual/Verhältnis)	457.98%
TIN	
Anzahl Dreiecke	14099
Max. Dreieckfläche	9.47qm
Mindestwert für Dreieckfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.100m
Max. Dreieckslänge	14.853m

Abbildung 85: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 2. EIGENE DARSTELLUNG.

8.1.1.2 Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+2

Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	7184
Mindestwert für X-Koordinate	433692.000m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.200m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.900m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.100m
Mindesthöhe	-4.650m
Maximaler Höhenwert	4.500m
Mittlere Höhe	0.000m
TIN	
Anzahl Dreiecke	14303
Max. Dreieckfläche	9.47qm
Mindestwert für Dreieckfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.016m
Max. Dreieckslänge	14.853m
Menge	
Urgelände	01_Gelaendemodell-1_Civil3D
Vergleichs-DGM	02_Gelaendemodell-2_Revit
Abtragsfaktor	1.000
Auftragsfaktor	1.000
Abtragsmenge (angepasst)	0.38 Kubikmeter
Auftragsmenge (angepasst)	0.86 Kubikmeter
Nettomenge (angepasst)	0.47 Kubikmeter<Auftrag>
Abtragsmenge (unangepasst)	0.38 Kubikmeter
Auftragsmenge (unangepasst)	0.86 Kubikmeter
Nettomenge (unangepasst)	0.47 Kubikmeter<Auftrag>

Abbildung 86: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+2. EIGENE DARSTELLUNG.

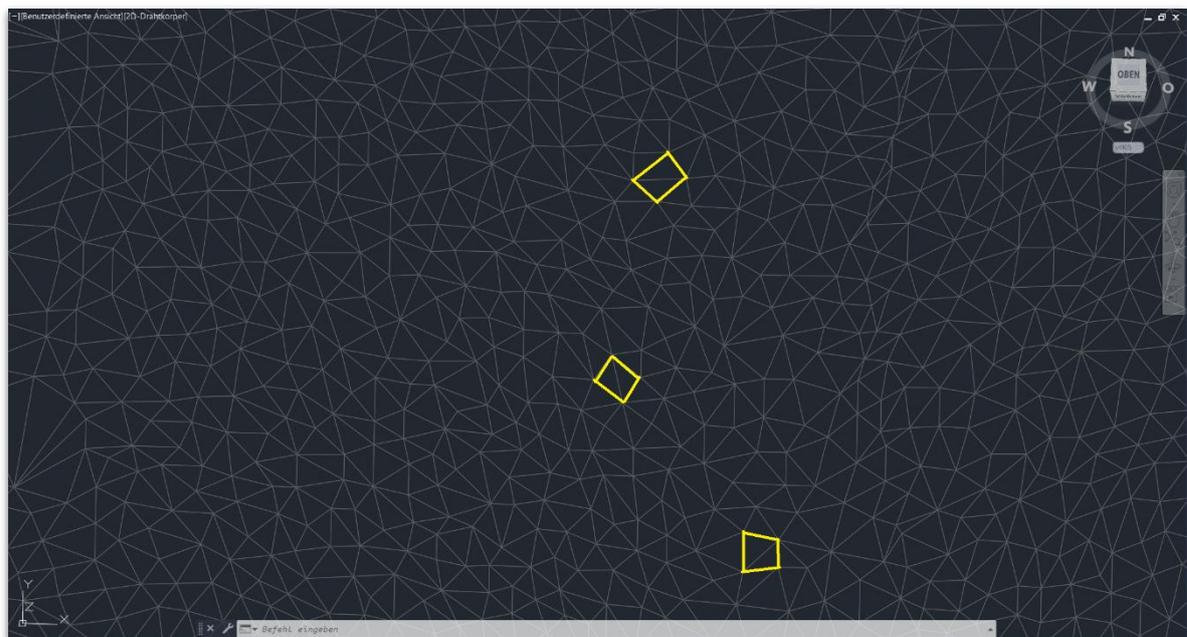


Abbildung 87: Vermaschung DGM 1 aus Civil 3D. EIGENE DARSTELLUNG.

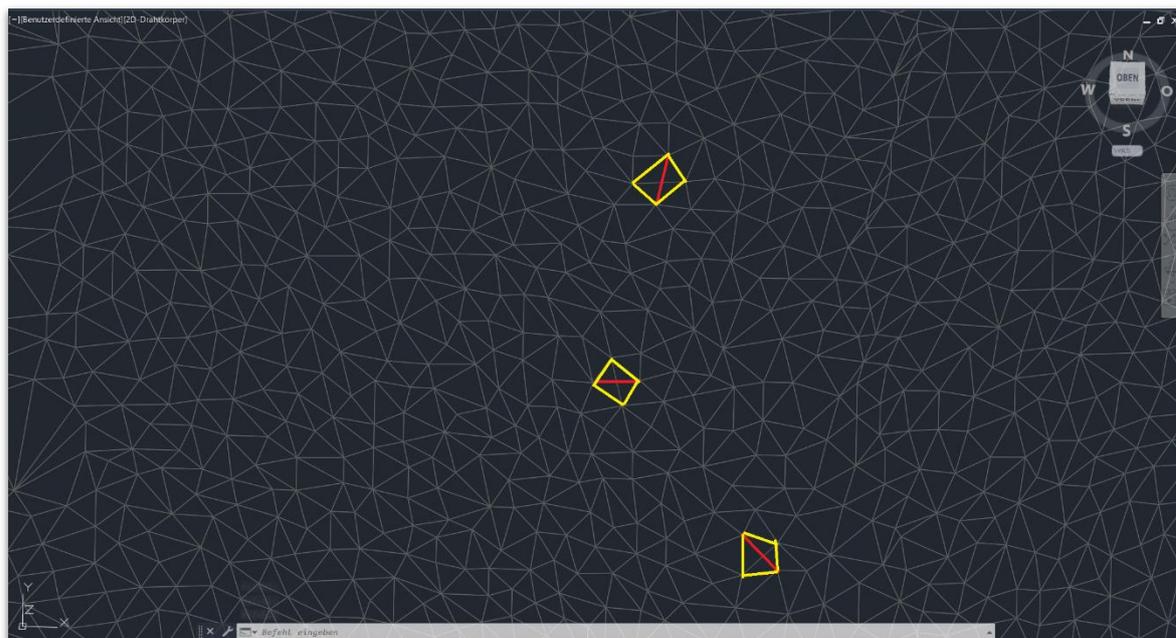


Abbildung 88: Vermaschung DGM 2 aus Revit. EIGENE DARSTELLUNG.

8.1.1.3 Höhenpläne DGM 1+2

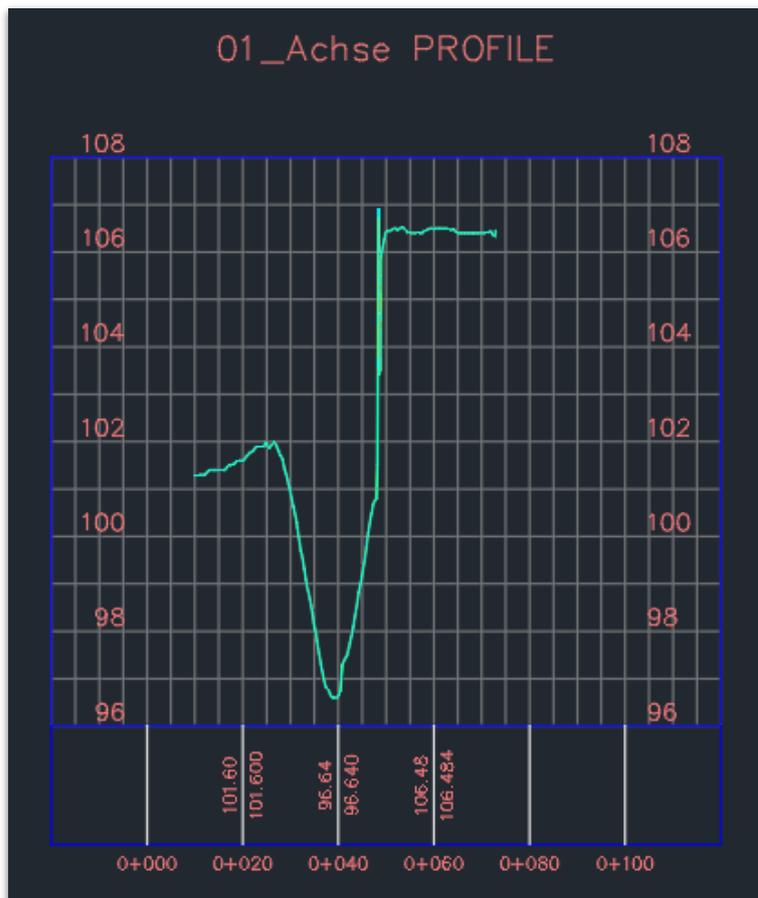


Abbildung 89: Längsschnitt 1 – DGM 1+2. EIGENE DARSTELLUNG.

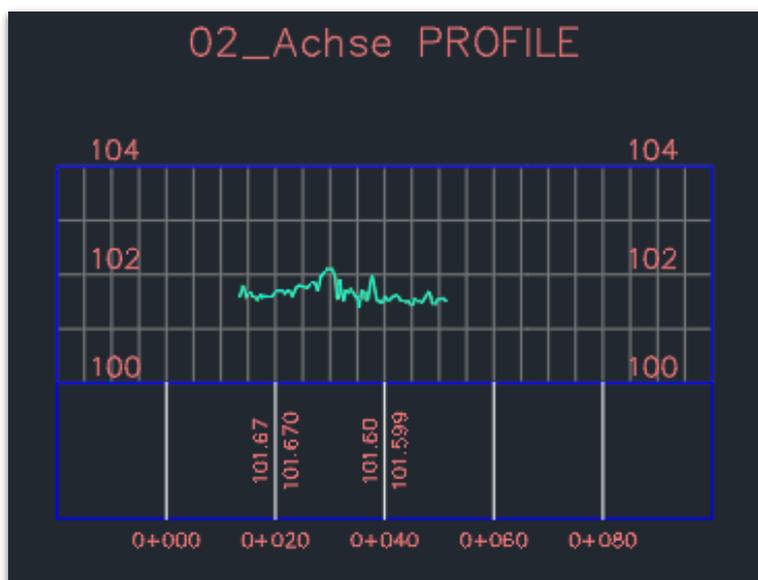


Abbildung 90: Längsschnitt 2 – DGM 1+2. EIGENE DARSTELLUNG.

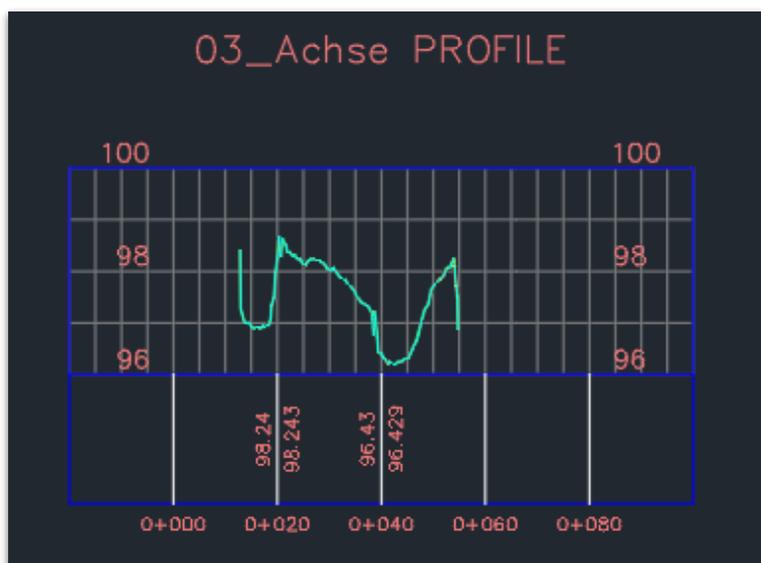


Abbildung 91: Längsschnitt 3 – DGM 1+2. EIGENE DARSTELLUNG.

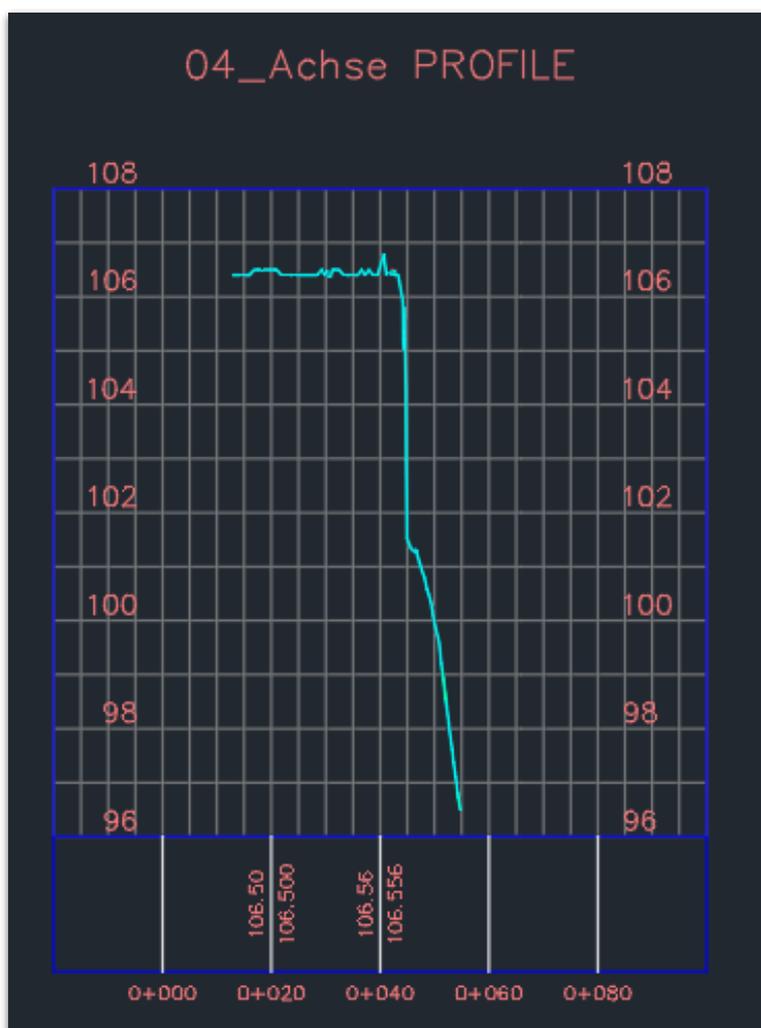


Abbildung 92: Längsschnitt 4 – DGM 1+2. EIGENE DARSTELLUNG.

8.1.1.4 Ergebnis

Die 2D-Fläche des DGMs 3 beträgt 2509,92 m², die 3D-Fläche 3376,11 m² (s. Abb. 85). Das entspricht einem Oberflächenzuwachs von 0,00 m² bzw. 1,68 m² zum DGM 1 (s. Abb. 84). Der prozentuale Unterschied beträgt somit 0 % und 0,05 %. Aus der Statistik des Triangulierten Mengenmodells des Vergleichs der Geländemodelle 1 und 2 ergibt sich in der Abtrags- und Auftragsmenge ein Wert von 0,38 m³ bzw. 0,86 m³ (s. Abb. 86). Betrachtet man einen detaillierten Ausschnitt beider Triangulationen fällt auf, dass die Dreiecksvermaschung in wenigen Punkten abweicht (s. Abb. 87 & 88). Einige Dreiecke der Triangulation des DGMs 2 sind zusätzlich geteilt. Diese Teilungen sind in Abbildung 88 mit einer roten Linie markiert. In den erstellten Längsschnitten 1 – 4 sind keine Schraffuren von Abtrags- oder Auftragsmengen zu erkennen (s. Abb. 89 – 92).

8.1.2 Geländemodell 3 – ‚Importexemplar‘ – Import von Höhenlinien

8.1.2.1 DGM-Eigenschaften – Geländemodell 3

Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	1272
Mindestwert für X-Koordinate	433692.000m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.200m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.900m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.100m
Mindesthöhe	95.700m
Maximaler Höhenwert	107.100m
Mittlere Höhe	101.868m
Erweitert	
2D-DGM	2509.87qm
3D-DGM	3084.55qm
Mindestneigung (prozentual/Verhältnis)	0.00%
Max. Neigung (prozentual/Verhältnis)	16753.50%
Mittlere Neigung (prozentual/Verhältnis)	253.07%
TIN	
Anzahl Dreiecke	2487
Max. Dreieckfläche	93.16qm
Mindestwert für Dreieckfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.032m
Max. Dreieckslänge	24.305m

Abbildung 93: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 3. EIGENE DARSTELLUNG.

8.1.2.2 Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+3

Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	21606
Mindestwert für X-Koordinate	433692.000m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.200m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.900m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.100m
Mindesthöhe	-4.787m
Maximaler Höhenwert	4.001m
Mittlere Höhe	0.065m
TIN	
Anzahl Dreiecke	43121
Max. Dreiecksfläche	7.06qm
Mindestwert für Dreiecksfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.000m
Max. Dreieckslänge	14.853m
Menge	
Urgelände	01_Gelaendemodell-1_Civil3D
Vergleichs-DGM	02_Gelaendemodell-3_Revit
Abtragsfaktor	1.000
Auftragsfaktor	1.000
Abtragsmenge (angepasst)	304.09 Kubikmeter
Auftragsmenge (angepasst)	465.99 Kubikmeter
Nettomenge (angepasst)	161.90 Kubikmeter <Auftrag>
Abtragsmenge (unangepasst)	304.09 Kubikmeter
Auftragsmenge (unangepasst)	465.99 Kubikmeter
Nettomenge (unangepasst)	161.90 Kubikmeter <Auftrag>

Abbildung 94: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

8.1.2.3 Höhenpläne DGM 1+3

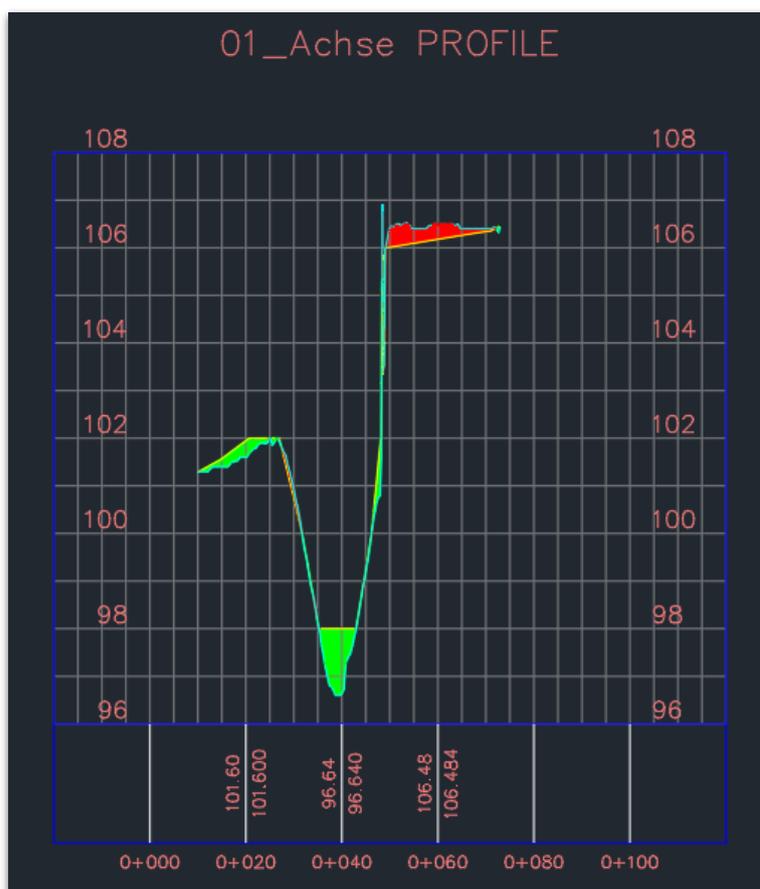


Abbildung 95: Längsschnitt 1 – 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.



Abbildung 96: Detail Längsschnitt 1 – 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

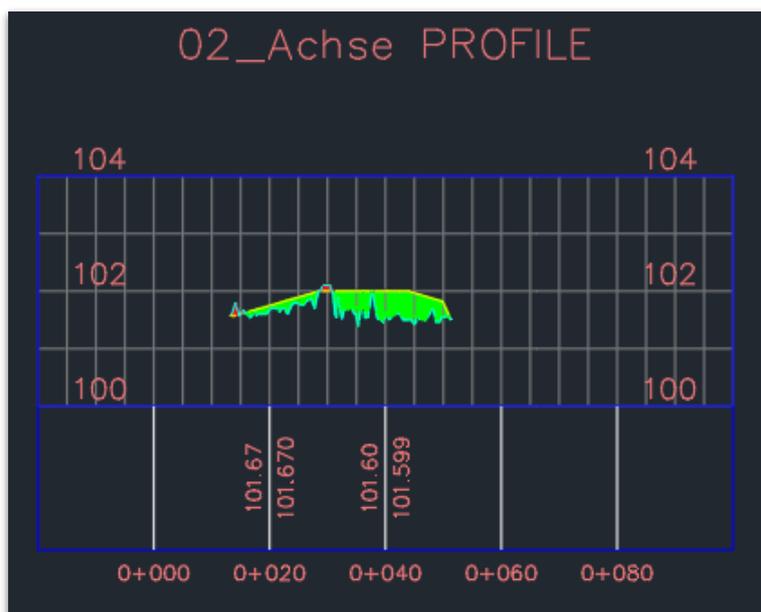


Abbildung 97: Längsschnitt 2 – DGM 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

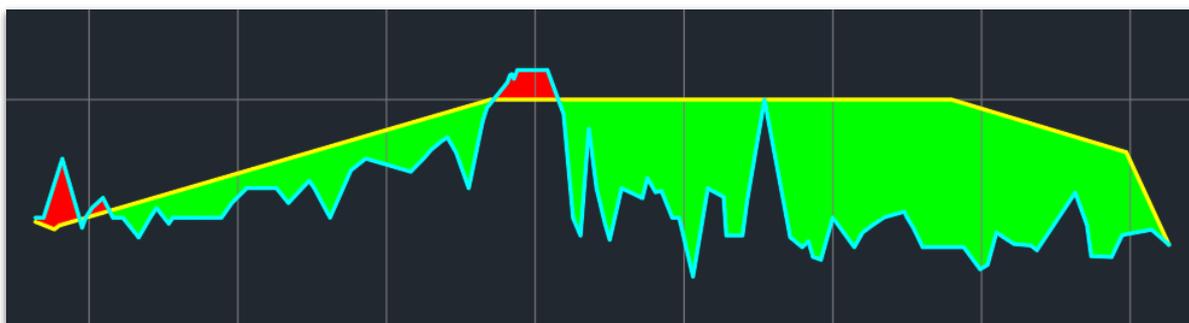


Abbildung 98: Detail Längsschnitt 2 – DGM 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

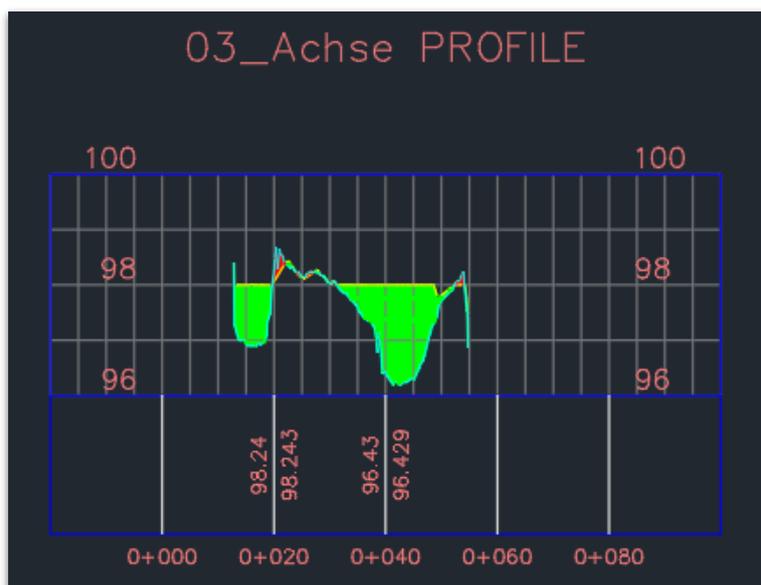


Abbildung 99: Längsschnitt 3 – DGM 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

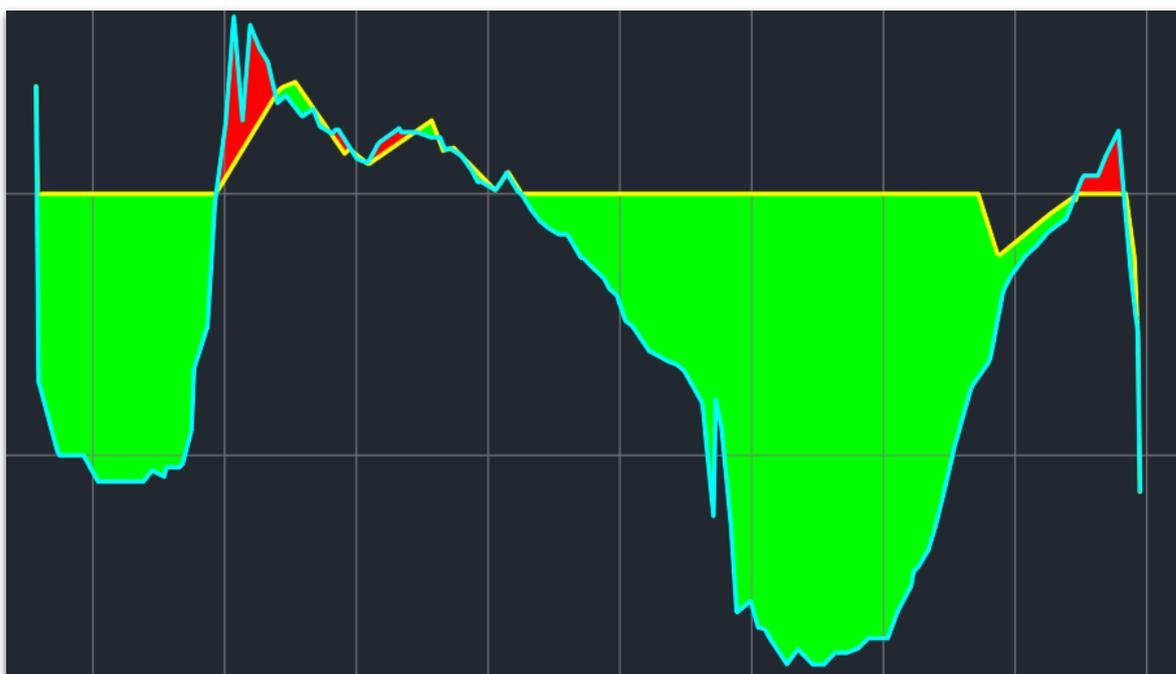


Abbildung 100: Detail Längsschnitt 3 – DGM 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

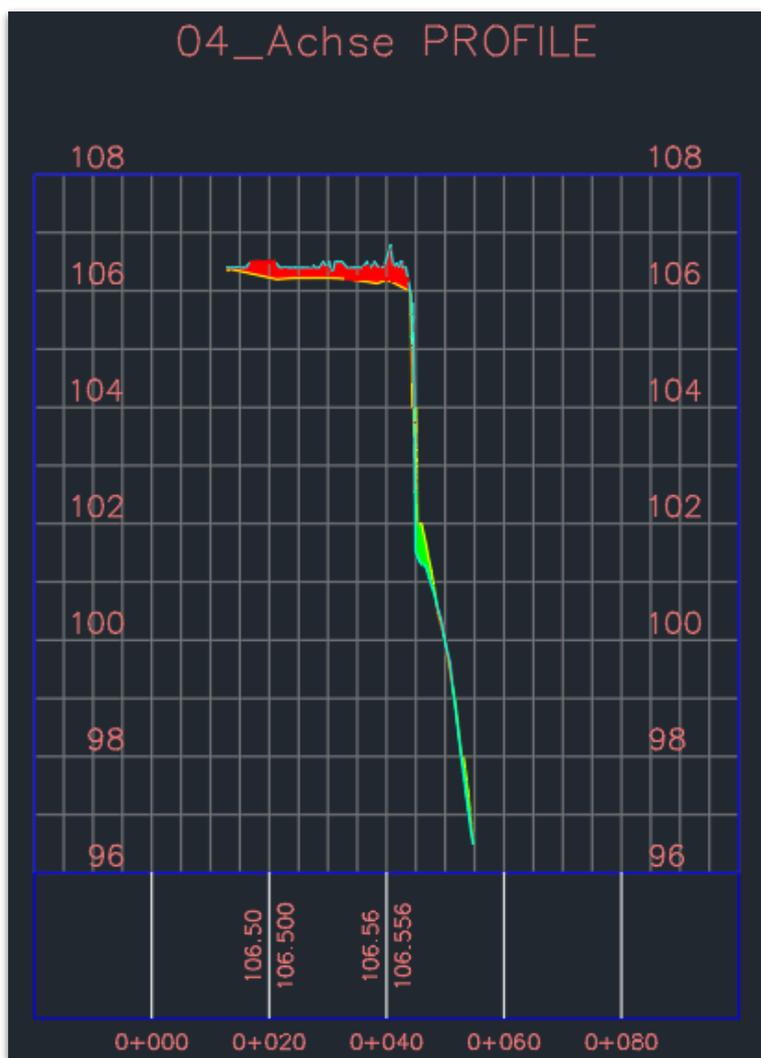


Abbildung 101: Längsschnitt 4 – DGM 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

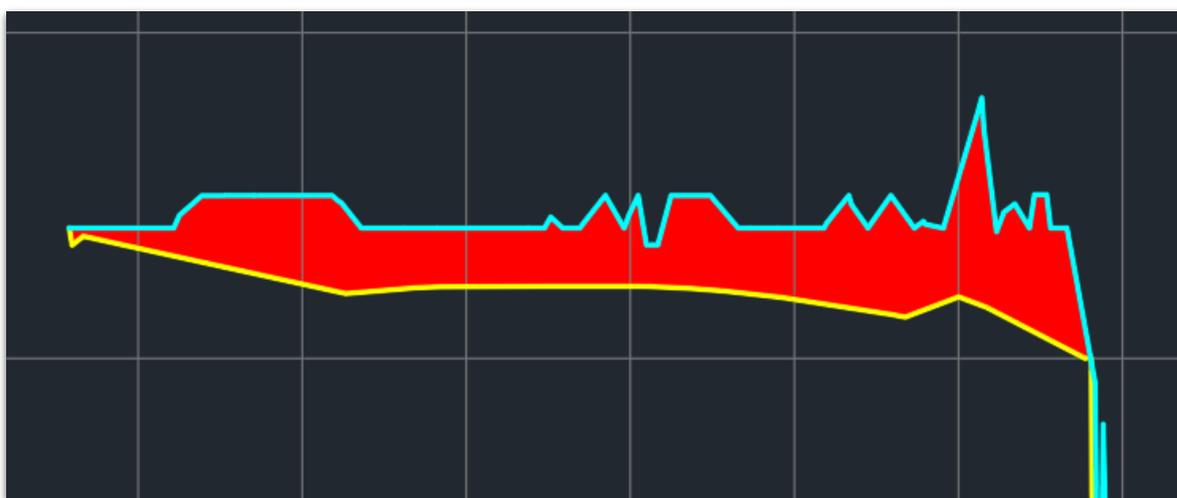


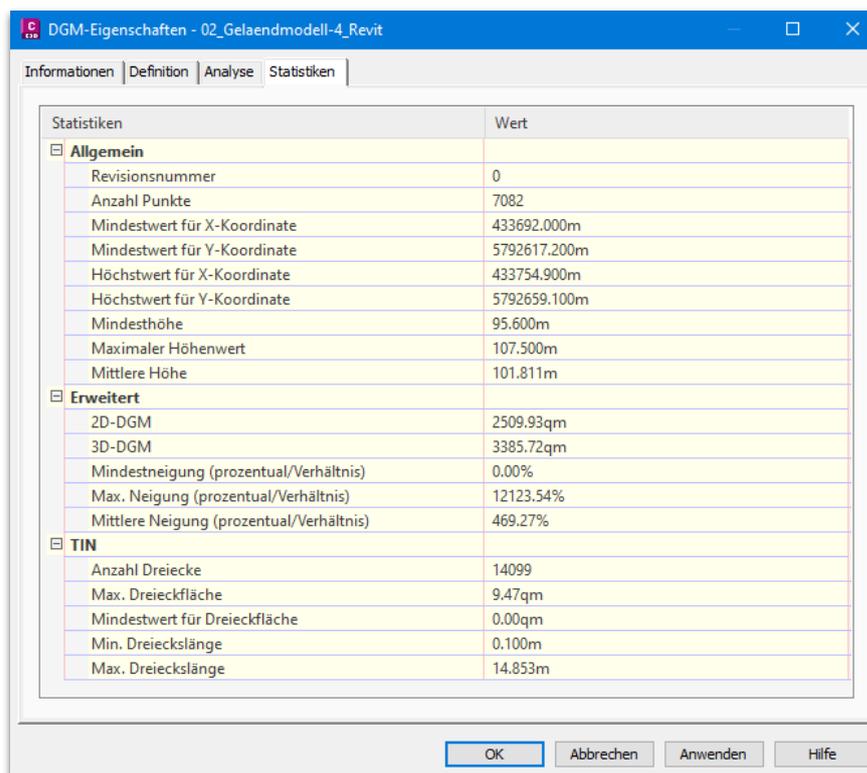
Abbildung 102: Detail Längsschnitt 4 – DGM 1+3. EIGENE DARSTELLUNG.

8.1.2.4 Ergebnis

Die 2D-Fläche des DGMs 3 beträgt 2509,87 m², die 3D-Fläche 3084,55 m² (s. Abb. 93). Das entspricht einer Oberflächenabnahme von 0,05 m² bzw. 289,88 m² zum DGM 1 (s. Abb. 84). Der prozentuale Unterschied beträgt somit 0,002 % und 9,4 %. Aus der Statistik des Triangulierten Mengenmodells des Vergleichs der Geländemodelle 1 und 3 ergibt sich in der Abtrags- und Auftragsmenge ein Wert von 304,09 m³ bzw. 465,99 m³ (s. Abb. 94). In den erstellten Längsschnitten 1 – 4 sind deutliche Schraffuren für Abtrags- und Auftragsmengen zu erkennen. Die Verläufe der Längsschnitte des DGMs 3 (gelb) sind deutlich flacher und regelmäßiger als die Verläufe der Längsschnitte des DGMs 1 (blau) (s. Abb. 95 – 102).

8.1.3 Geländemodell 4 – ‚Punktdatei angeben‘

8.1.3.1 DGM-Eigenschaften – Geländemodell 4



Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	7082
Mindestwert für X-Koordinate	433692.000m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.200m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.900m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.100m
Mindesthöhe	95.600m
Maximaler Höhenwert	107.500m
Mittlere Höhe	101.811m
Erweitert	
2D-DGM	2509.93qm
3D-DGM	3385.72qm
Mindestneigung (prozentual/Verhältnis)	0.00%
Max. Neigung (prozentual/Verhältnis)	12123.54%
Mittlere Neigung (prozentual/Verhältnis)	469.27%
TIN	
Anzahl Dreiecke	14099
Max. Dreieckfläche	9.47qm
Mindestwert für Dreieckfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.100m
Max. Dreieckslänge	14.853m

Abbildung 103: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 4. EIGENE DARSTELLUNG.

8.1.3.2 Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+4

Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	7191
Mindestwert für X-Koordinate	433692.048m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.161m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.948m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.061m
Mindesthöhe	-3.200m
Maximaler Höhenwert	5.900m
Mittlere Höhe	0.007m
TIN	
Anzahl Dreiecke	14317
Max. Dreiecksfläche	9.47qm
Mindestwert für Dreiecksfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.025m
Max. Dreieckslänge	14.853m
Menge	
Urgelände	01_Gelaendemodell-1_Civil3D
Vergleichs-DGM	02_Gelaendemodell-4_Revit
Abtragsfaktor	1.000
Auftragsfaktor	1.000
Abtragsmenge (angepasst)	0.19 Kubikmeter
Auftragsmenge (angepasst)	16.54 Kubikmeter
Nettomenge (angepasst)	16.35 Kubikmeter<Auftrag>
Abtragsmenge (unangepasst)	0.19 Kubikmeter
Auftragsmenge (unangepasst)	16.54 Kubikmeter
Nettomenge (unangepasst)	16.35 Kubikmeter<Auftrag>

Abbildung 104: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+4. EIGENE DARSTELLUNG.

8.1.3.3 Höhenpläne

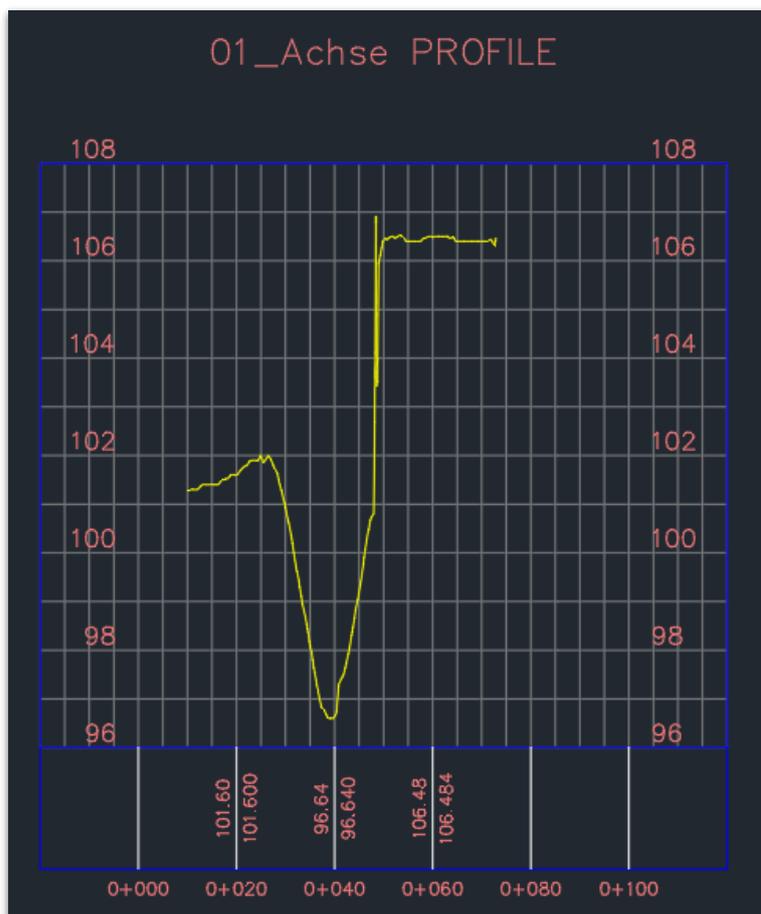


Abbildung 105: Längsschnitt 1 – DGM 1+4. EIGENE DARSTELLUNG.

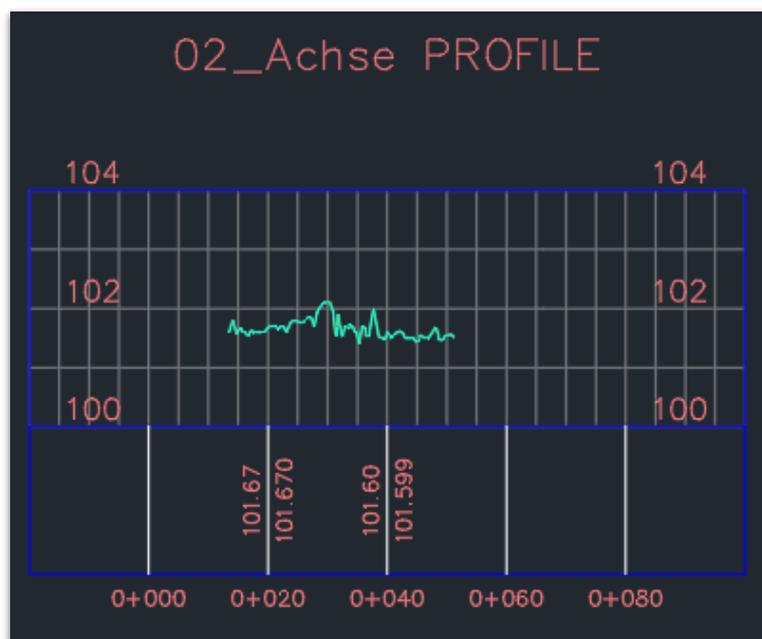


Abbildung 106: Längsschnitt 2 – DGM 1+4. EIGENE DARSTELLUNG.

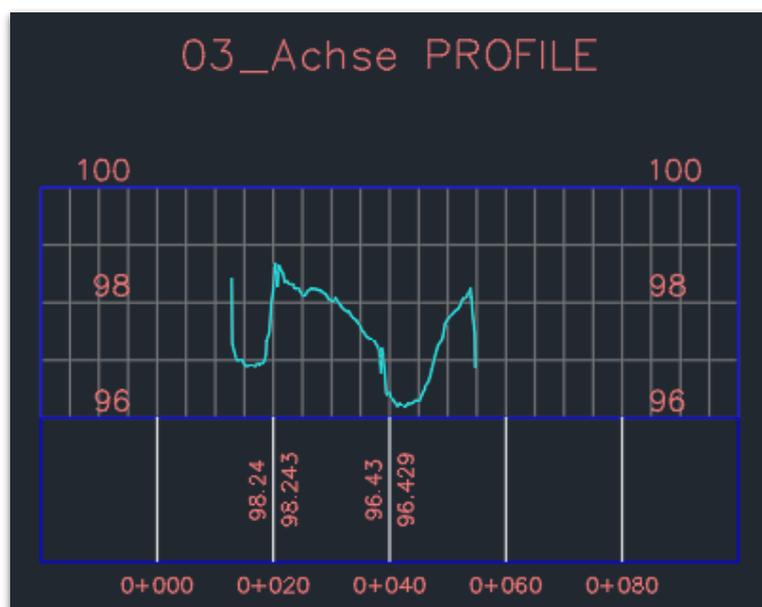


Abbildung 107: Längsschnitt 3 – DGM 1+4. EIGENE DARSTELLUNG.

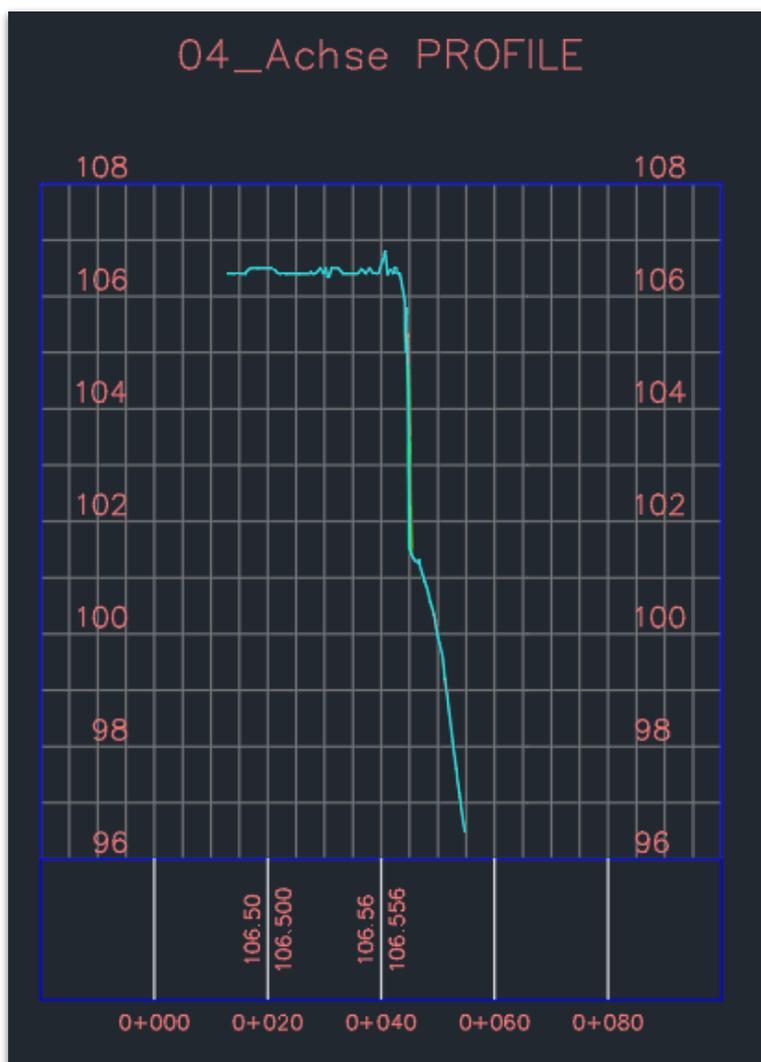


Abbildung 108: Längsschnitt 4 – DGM 1+4. EIGENE DARSTELLUNG.



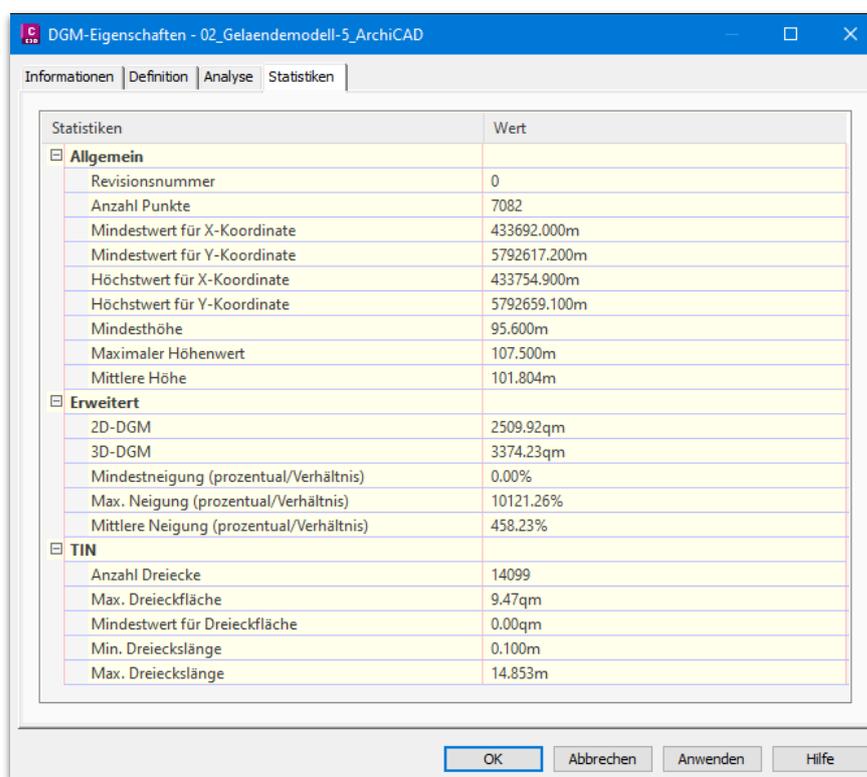
Abbildung 109: Detail Längsschnitt 4 – DGM 1+4. EIGENE DARSTELLUNG.

8.1.3.4 Ergebnis

Die 2D-Fläche des DGMs 4 beträgt 2509,93 m², die 3D-Fläche 3385,72 m² (s. Abb. 103). Das entspricht einem Oberflächenzuwachs von 0,01 m² bzw. 11,29 m² zum DGM 1 (s. Abb. 84). Der prozentuale Unterschied beträgt somit 0,00 % und 0,33 %. Aus der Statistik des Triangulierten Mengenmodells des Vergleichs der Geländemodelle 1 und 4 ergibt sich in der Abtrags- und Auftragsmenge ein Wert von 0,19 m³ bzw. 16,54 m³ (s. Abb. 104). In den erstellten Längsschnitten ist ausschließlich in Schnitt 4 eine Schraffur für eine Auftragsmenge entlang des Steilhangs auszumachen. (s. Abb. 105 – 109).

8.2 Vergleich Autodesk Civil 3D und Graphisoft ArchiCAD

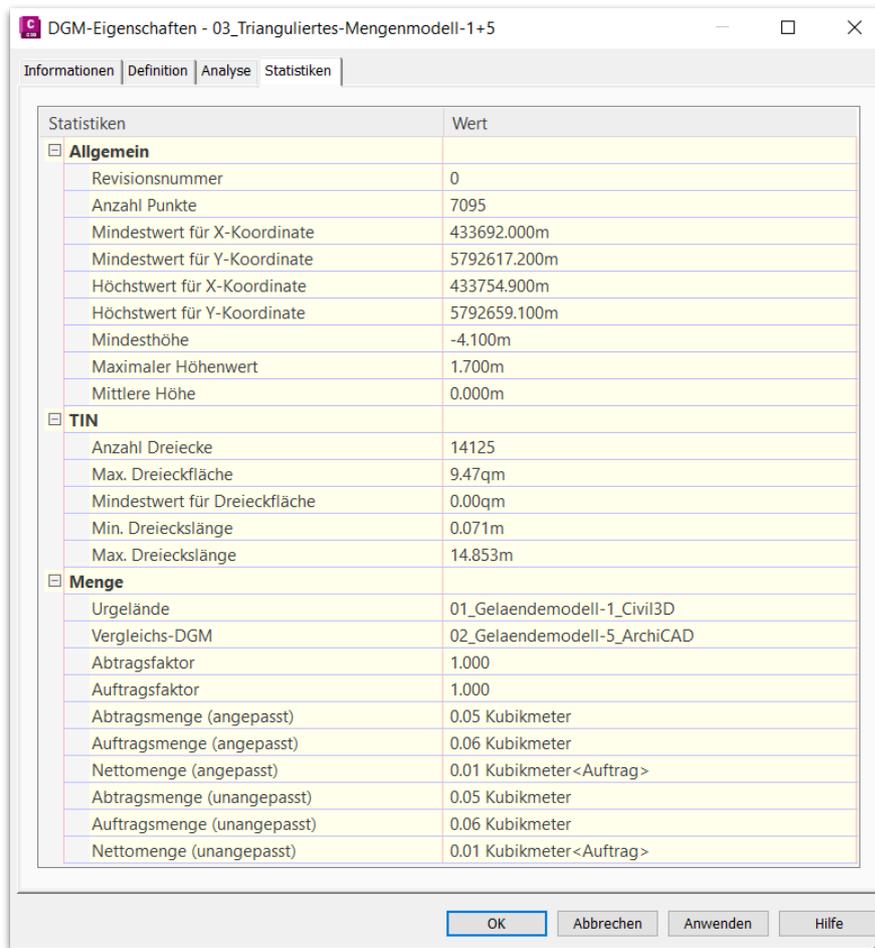
8.2.1 DGM-Eigenschaften – Geländemodell 5



Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	7082
Mindestwert für X-Koordinate	433692.000m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.200m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.900m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.100m
Mindesthöhe	95.600m
Maximaler Höhenwert	107.500m
Mittlere Höhe	101.804m
Erweitert	
2D-DGM	2509.92qm
3D-DGM	3374.23qm
Mindestneigung (prozentual/Verhältnis)	0.00%
Max. Neigung (prozentual/Verhältnis)	10121.26%
Mittlere Neigung (prozentual/Verhältnis)	458.23%
TIN	
Anzahl Dreiecke	14099
Max. Dreieckfläche	9.47qm
Mindestwert für Dreieckfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.100m
Max. Dreieckslänge	14.853m

Abbildung 110: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 5. EIGENE DARSTELLUNG.

8.2.2 Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+5



Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	7095
Mindestwert für X-Koordinate	433692.000m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.200m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.900m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.100m
Mindesthöhe	-4.100m
Maximaler Höhenwert	1.700m
Mittlere Höhe	0.000m
TIN	
Anzahl Dreiecke	14125
Max. Dreiecksfläche	9.47qm
Mindestwert für Dreiecksfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.071m
Max. Dreieckslänge	14.853m
Menge	
Urgelände	01_Gelaendemodell-1_Civil3D
Vergleichs-DGM	02_Gelaendemodell-5_ArchiCAD
Abtragsfaktor	1.000
Auftragsfaktor	1.000
Abtragsmenge (angepasst)	0.05 Kubikmeter
Auftragsmenge (angepasst)	0.06 Kubikmeter
Nettomenge (angepasst)	0.01 Kubikmeter<Auftrag>
Abtragsmenge (unangepasst)	0.05 Kubikmeter
Auftragsmenge (unangepasst)	0.06 Kubikmeter
Nettomenge (unangepasst)	0.01 Kubikmeter<Auftrag>

Abbildung 111: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+5. EIGENE DARSTELLUNG.

8.2.3 Höhenpläne DGM 1+5

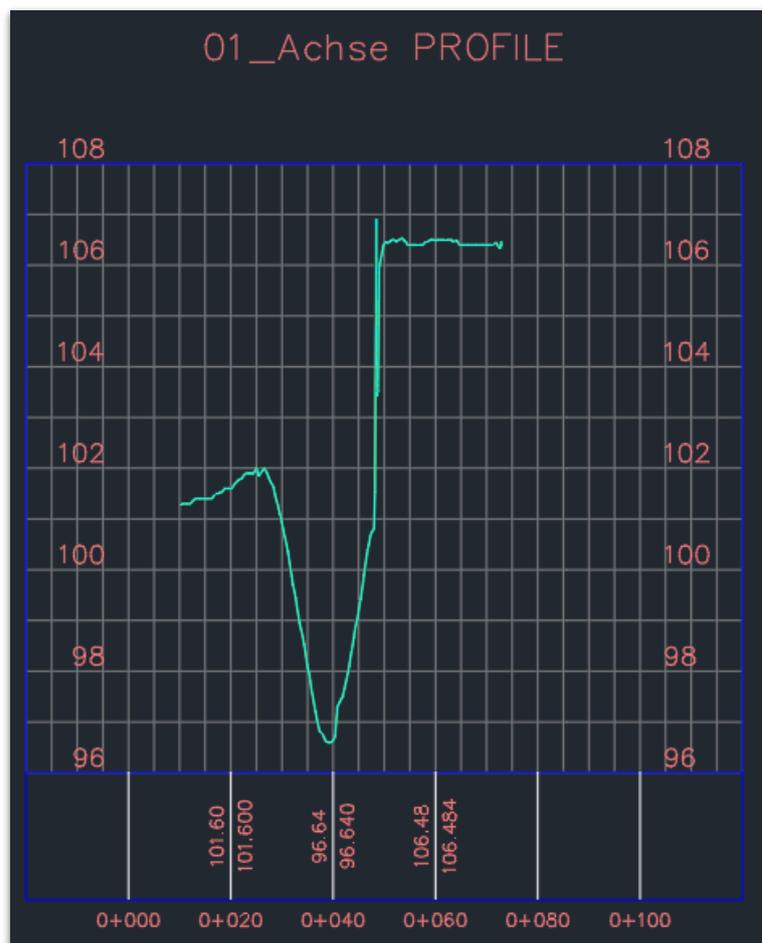


Abbildung 112: Längsschnitt 1 – DGM 1+5. EIGENE DARSTELLUNG.

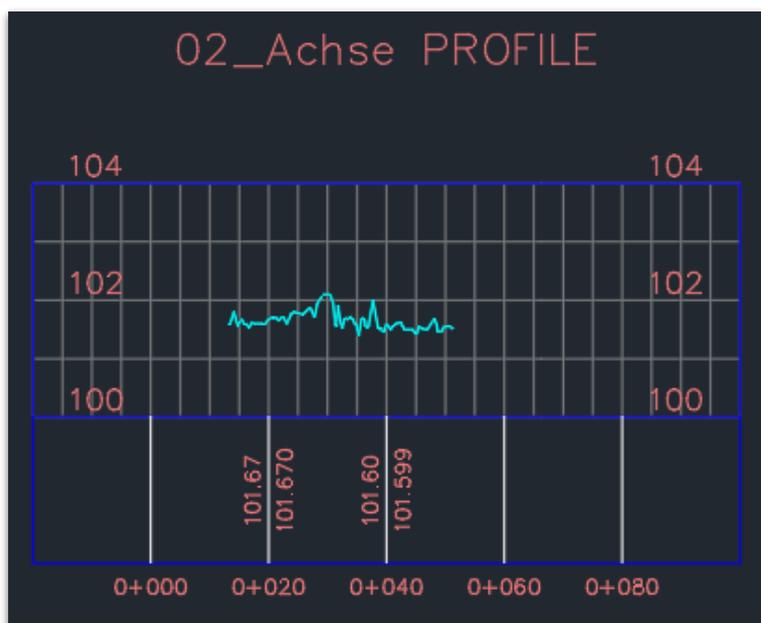


Abbildung 113: Längsschnitt 2 – DGM 1+5. EIGENE DARSTELLUNG.

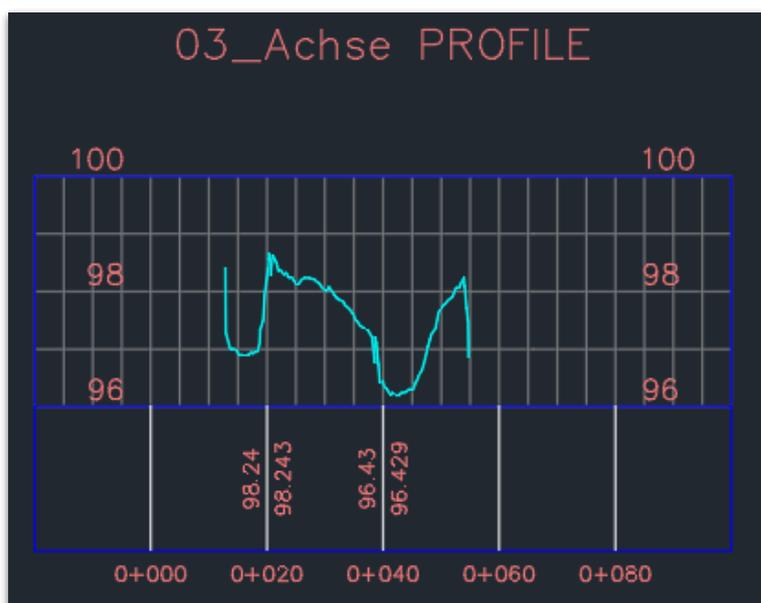


Abbildung 114: Längsschnitt 3 – DGM 1+5. EIGENE DARSTELLUNG.

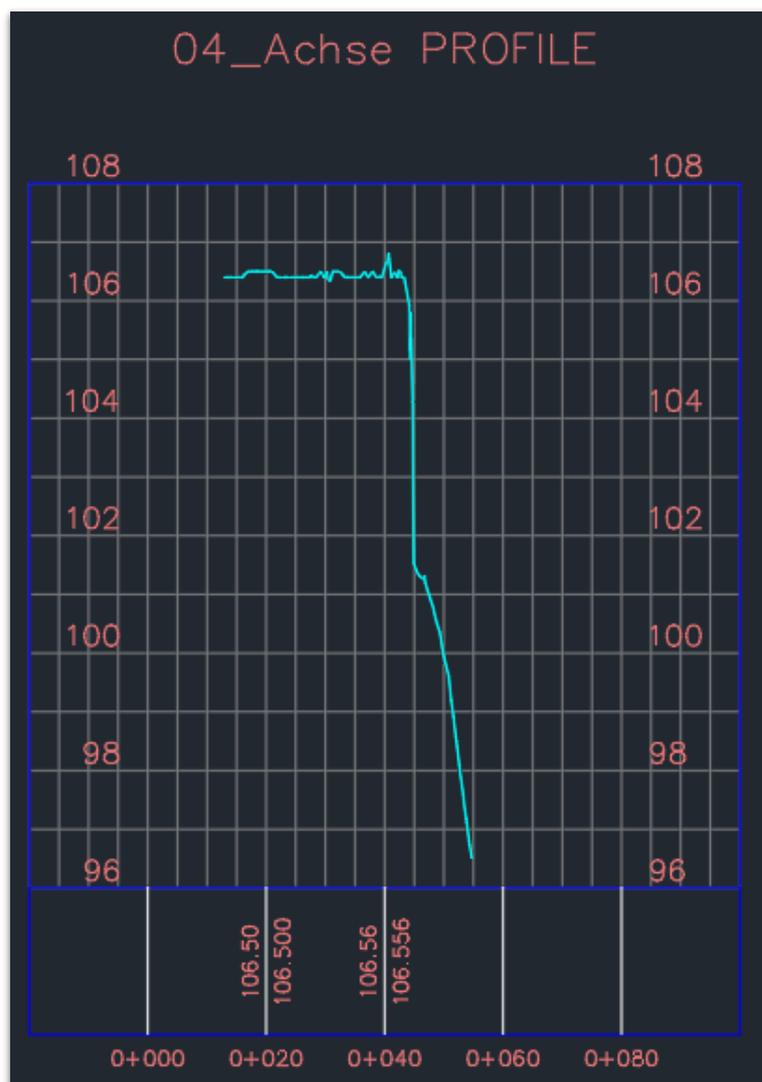


Abbildung 115: Längsschnitt 4 – DGM 1+5. EIGENE DARSTELLUNG.

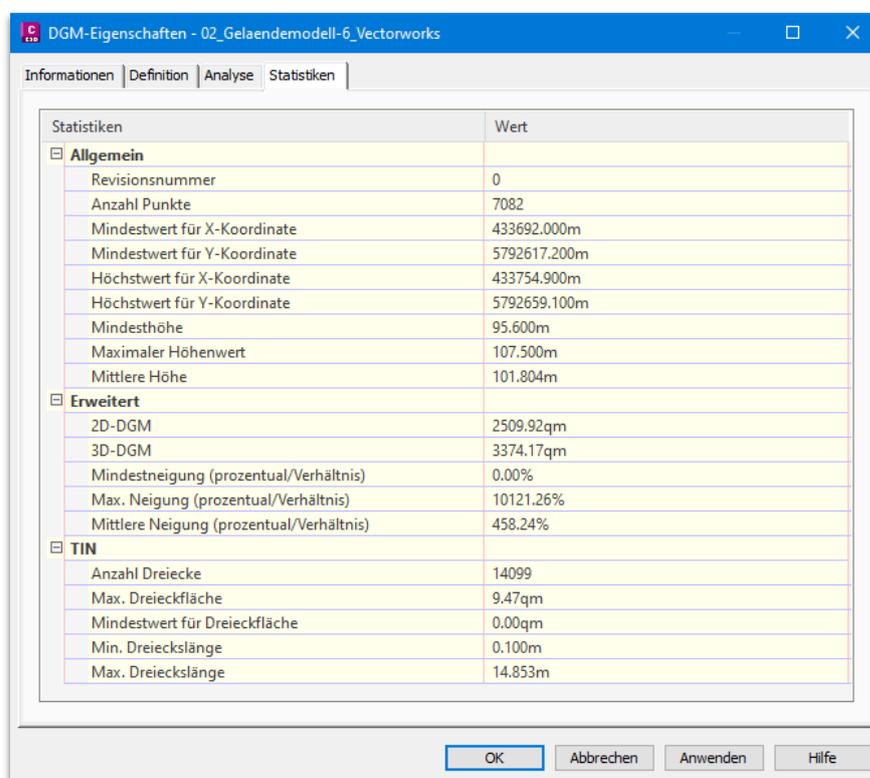
8.2.4 Ergebnis

Die 2D-Fläche des DGMs 5 beträgt 2509,92 m², die 3D-Fläche 3374,23 m² (s. Abb. 110). Das entspricht einer Oberflächenabnahme von 0,00 m² bzw. 0,2 m² zum DGM 1 (s. Abb. 84). Der prozentuale Unterschied beträgt somit 0,00 % und 0,01 %. Aus der Statistik des Triangulierten Mengenmodells des Vergleichs der Geländemodelle 1 und 5 ergibt sich in der Abtrags- und Auftragsmenge ein Wert von 0,05 m³ bzw. 0,06 m³ (s. Abb. 111). In den erstellten Längsschnitten 1 – 4 sind keine Schraffuren von Abtrags- oder Auftragsmengen zu erkennen. (s. Abb. 112 – 115).

8.3 Vergleich Autodesk Civil 3D und Vectorworks

8.3.1 Geländemodell 6 – ‚Import Aufmaß / Koordinaten‘

8.3.1.1 DGM-Eigenschaften – Geländemodell 6



The screenshot shows a software window titled 'DGM-Eigenschaften - 02_Gelaendemodell-6_Vectorworks'. It contains a 'Statistiken' (Statistics) tab with a table of data. The table is organized into three main categories: 'Allgemein' (General), 'Erweitert' (Advanced), and 'TIN'. Each category has a sub-header and several rows of data with corresponding values.

Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	7082
Mindestwert für X-Koordinate	433692.000m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.200m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.900m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.100m
Mindesthöhe	95.600m
Maximaler Höhenwert	107.500m
Mittlere Höhe	101.804m
Erweitert	
2D-DGM	2509.92qm
3D-DGM	3374.17qm
Mindestneigung (prozentual/Verhältnis)	0.00%
Max. Neigung (prozentual/Verhältnis)	10121.26%
Mittlere Neigung (prozentual/Verhältnis)	458.24%
TIN	
Anzahl Dreiecke	14099
Max. Dreieckfläche	9.47qm
Mindestwert für Dreieckfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.100m
Max. Dreieckslänge	14.853m

Abbildung 116: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 6. EIGENE DARSTELLUNG.

8.3.1.2 Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+6

Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	7096
Mindestwert für X-Koordinate	433692.000m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.200m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.900m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.100m
Mindesthöhe	-4.325m
Maximaler Höhenwert	1.700m
Mittlere Höhe	0.000m
TIN	
Anzahl Dreiecke	14127
Max. Dreiecksfläche	9.47qm
Mindestwert für Dreiecksfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.071m
Max. Dreieckslänge	14.853m
Menge	
Urgelände	01_Gelaendemodell-1_Civil3D
Vergleichs-DGM	02_Gelaendemodell-6_Vectorworks
Abtragsfaktor	1.000
Auftragsfaktor	1.000
Abtragsmenge (angepasst)	0.28 Kubikmeter
Auftragsmenge (angepasst)	0.06 Kubikmeter
Nettomenge (angepasst)	0.22 Kubikmeter<Abtrag>
Abtragsmenge (unangepasst)	0.28 Kubikmeter
Auftragsmenge (unangepasst)	0.06 Kubikmeter
Nettomenge (unangepasst)	0.22 Kubikmeter<Abtrag>

Abbildung 117: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+6. EIGENE DARSTELLUNG.

8.3.1.3 Höhenpläne DGM 1+6

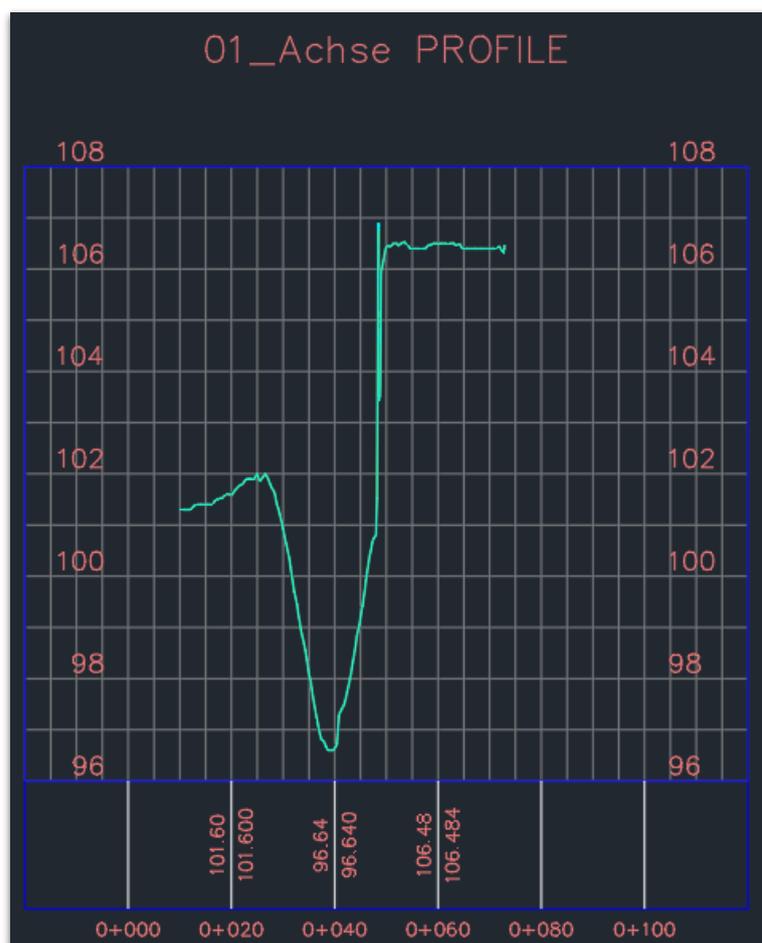


Abbildung 118: Längsschnitt 1 – DGM 1+6. EIGENE DARSTELLUNG.

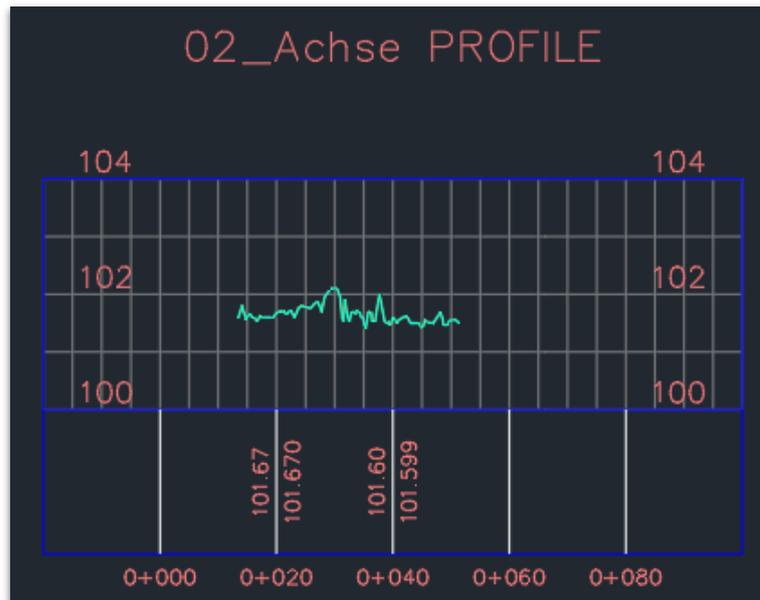


Abbildung 119: Längsschnitt 2 – DGM 1+6. EIGENE DARSTELLUNG.

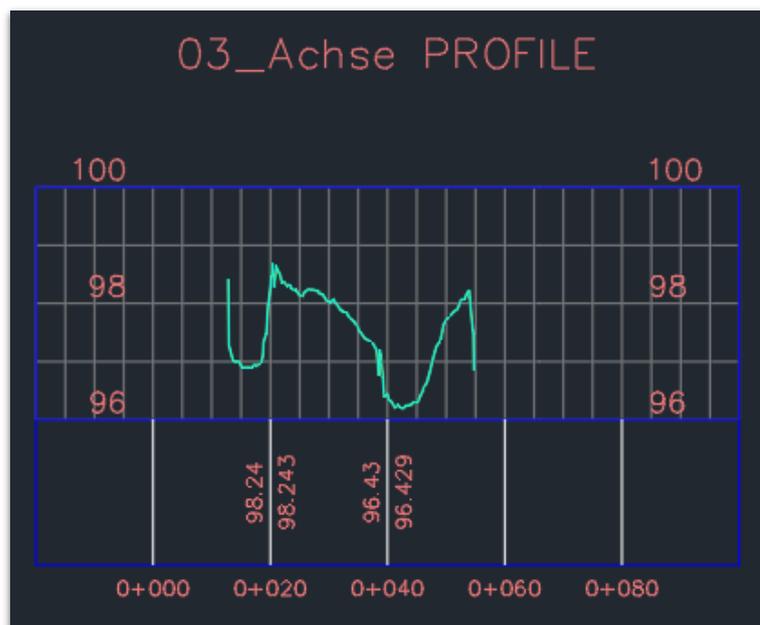


Abbildung 120: Längsschnitt 3 – DGM 1+6. EIGENE DARSTELLUNG.

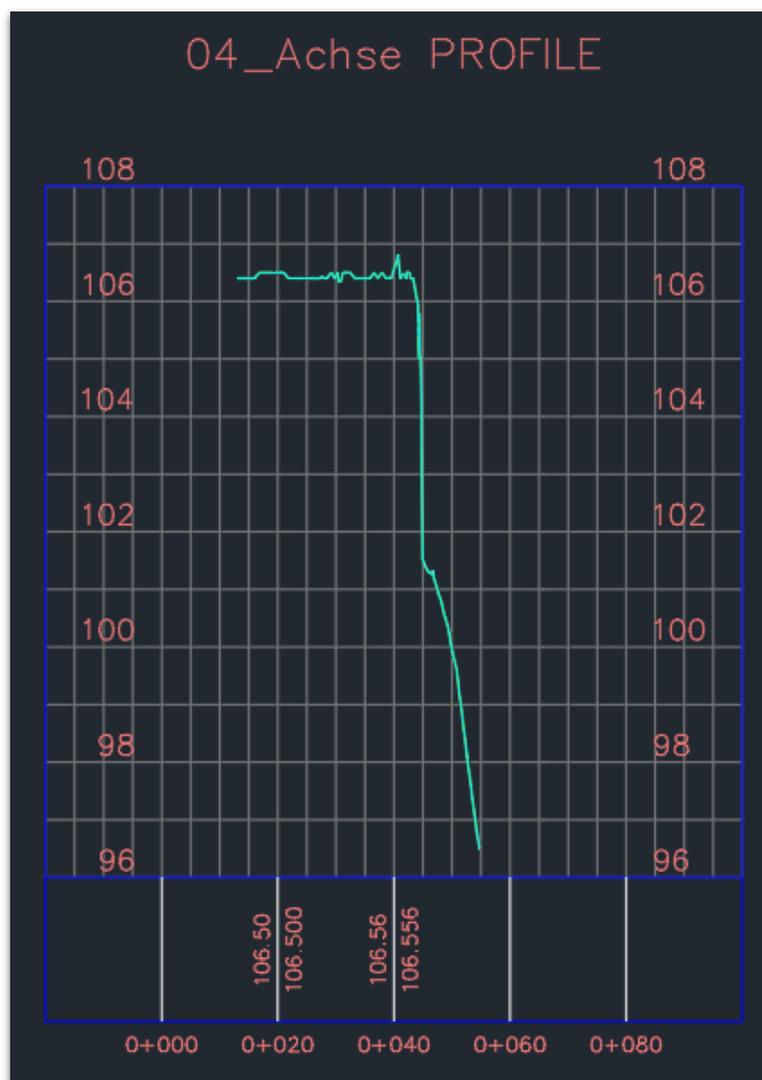


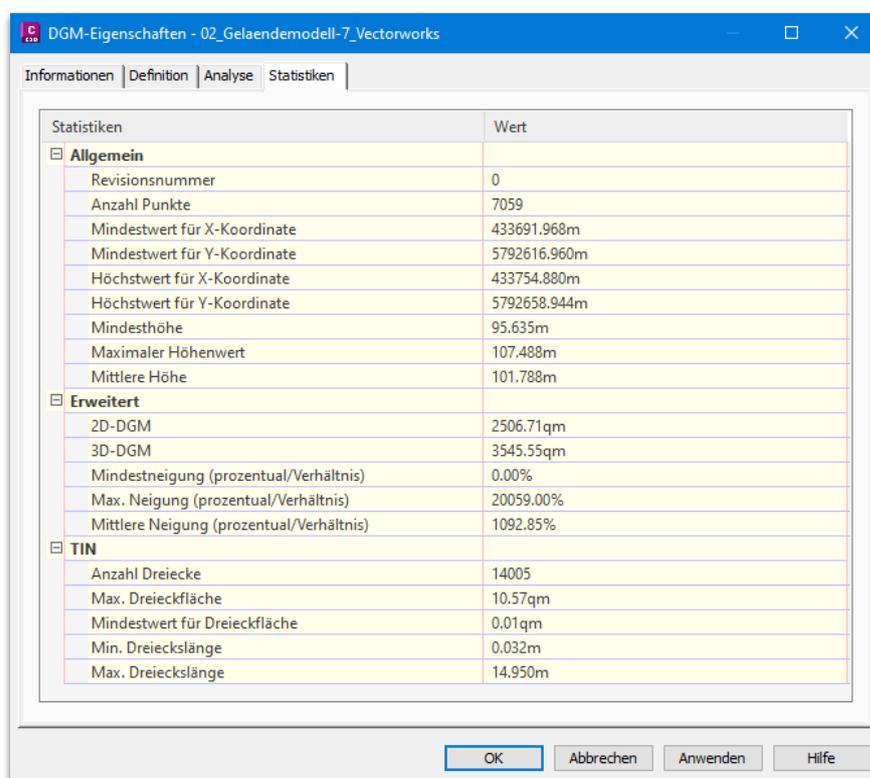
Abbildung 121: Längsschnitt 4 – DGM 1+6. EIGENE DARSTELLUNG.

8.3.1.4 Ergebnis

Die 2D-Fläche des DGMs 6 beträgt 2509,92 m², die 3D-Fläche 3374,17 m² (s. Abb. 116). Das entspricht einer Oberflächenabnahme von 0,00 m² bzw. 0,26 m² zum DGM 1 (s. Abb. 84). Der prozentuale Unterschied beträgt somit 0,00 % und 0,01 %. Aus der Statistik des Triangulierten Mengenmodells des Vergleichs der Geländemodelle 1 und 6 ergibt sich in der Abtrags- und Auftragsmenge ein Wert von 0,28 m³ bzw. 0,06 m³ (s. Abb. 117). In den erstellten Längsschnitten 1 – 4 sind keine Schraffuren von Abtrags- oder Auftragsmengen zu erkennen. (s. Abb. 118 – 121).

8.3.2 Geländemodell 7 – ‚Import Punktwolke‘

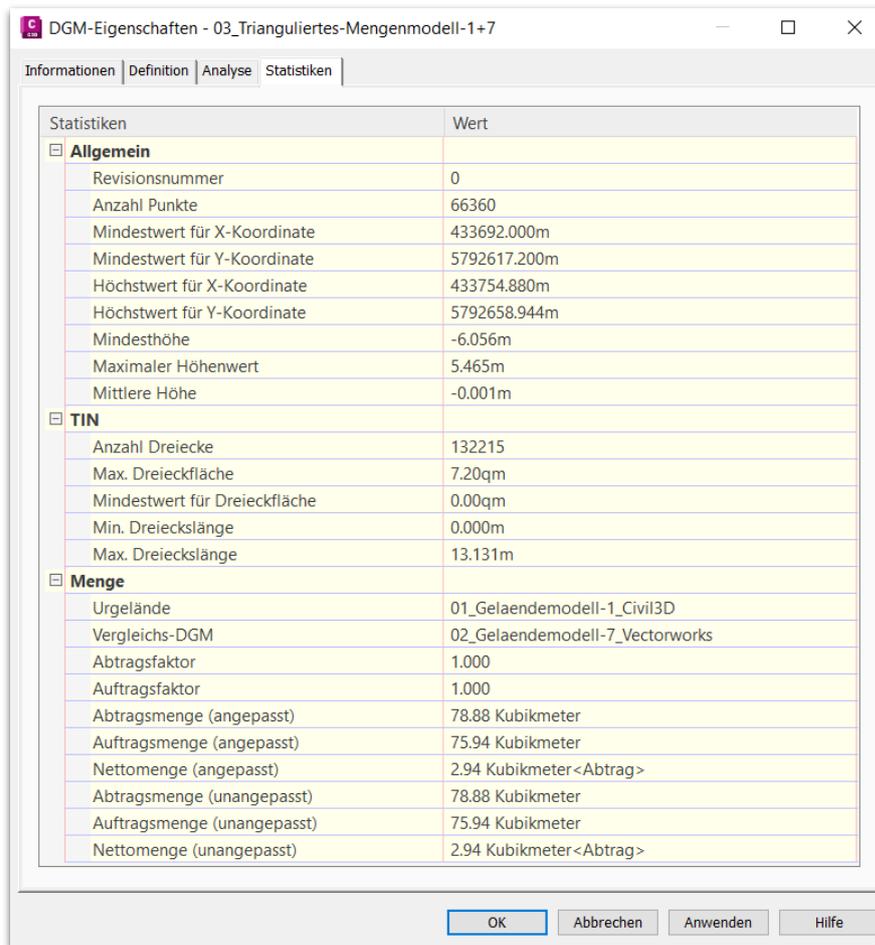
8.3.2.1 DGM-Eigenschaften – Geländemodell 7



Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	7059
Mindestwert für X-Koordinate	433691.968m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792616.960m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.880m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792658.944m
Mindesthöhe	95.635m
Maximaler Höhenwert	107.488m
Mittlere Höhe	101.788m
Erweitert	
2D-DGM	2506.71qm
3D-DGM	3545.55qm
Mindestneigung (prozentual/Verhältnis)	0.00%
Max. Neigung (prozentual/Verhältnis)	20059.00%
Mittlere Neigung (prozentual/Verhältnis)	1092.85%
TIN	
Anzahl Dreiecke	14005
Max. Dreieckfläche	10.57qm
Mindestwert für Dreieckfläche	0.01qm
Min. Dreieckslänge	0.032m
Max. Dreieckslänge	14.950m

Abbildung 122: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 7. EIGENE DARSTELLUNG.

8.3.2.2 Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+7



Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	66360
Mindestwert für X-Koordinate	433692.000m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.200m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.880m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792658.944m
Mindesthöhe	-6.056m
Maximaler Höhenwert	5.465m
Mittlere Höhe	-0.001m
TIN	
Anzahl Dreiecke	132215
Max. Dreiecksfläche	7.20qm
Mindestwert für Dreiecksfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.000m
Max. Dreieckslänge	13.131m
Menge	
Urgelände	01_Gelaendemodell-1_Civil3D
Vergleichs-DGM	02_Gelaendemodell-7_Vectorworks
Abtragsfaktor	1.000
Auftragsfaktor	1.000
Abtragsmenge (angepasst)	78.88 Kubikmeter
Auftragsmenge (angepasst)	75.94 Kubikmeter
Nettomenge (angepasst)	2.94 Kubikmeter<Abtrag>
Abtragsmenge (unangepasst)	78.88 Kubikmeter
Auftragsmenge (unangepasst)	75.94 Kubikmeter
Nettomenge (unangepasst)	2.94 Kubikmeter<Abtrag>

Abbildung 123: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

8.3.2.3 Höhenpläne DGM 1+7

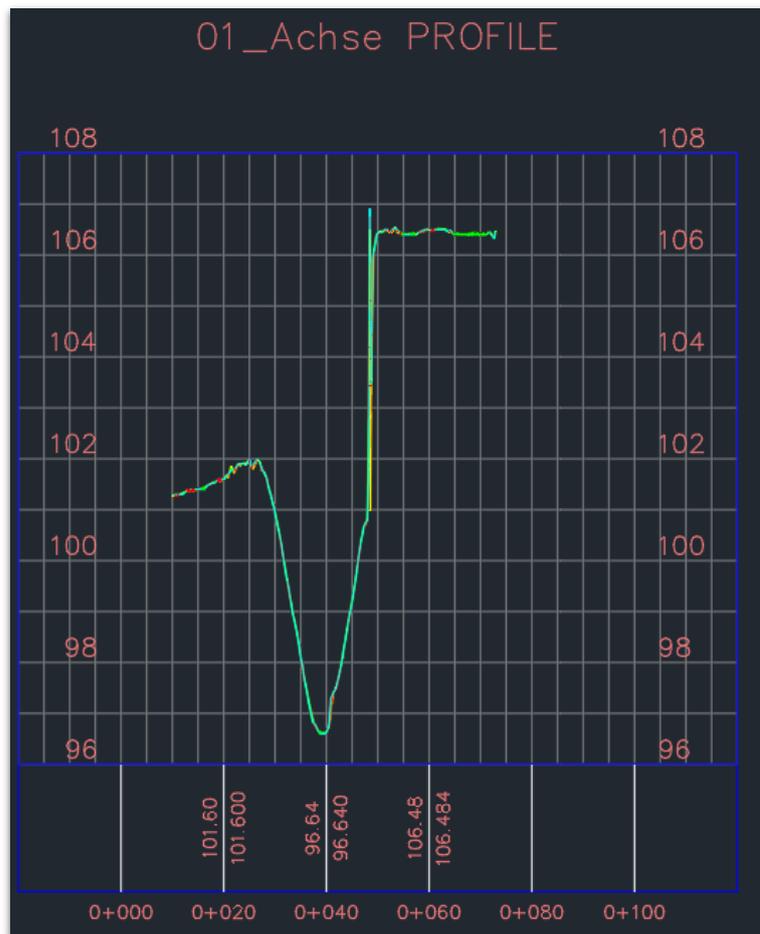


Abbildung 124: Längsschnitt 1 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.



Abbildung 125: Detail Längsschnitt 1 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

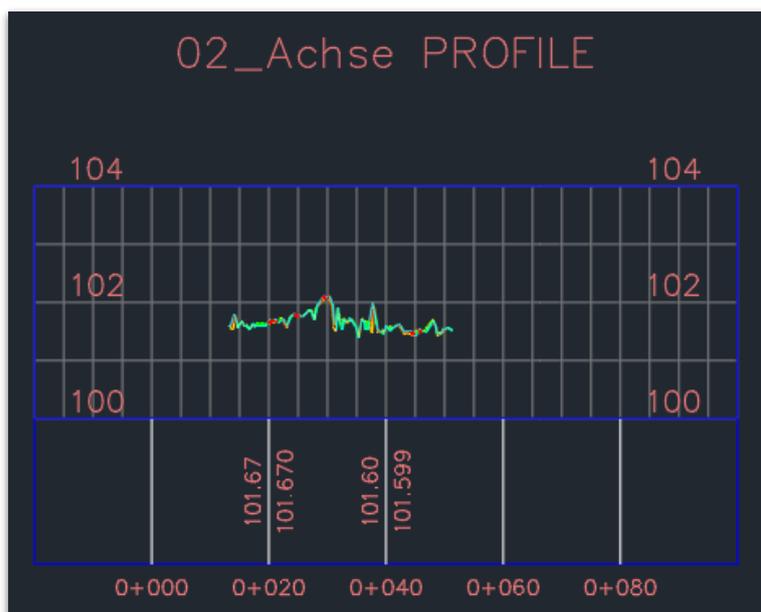


Abbildung 126: Längsschnitt 2 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

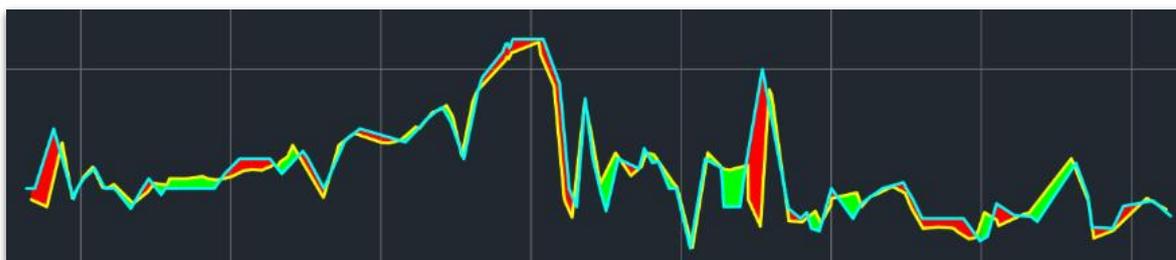


Abbildung 127: Detail Längsschnitt 2 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

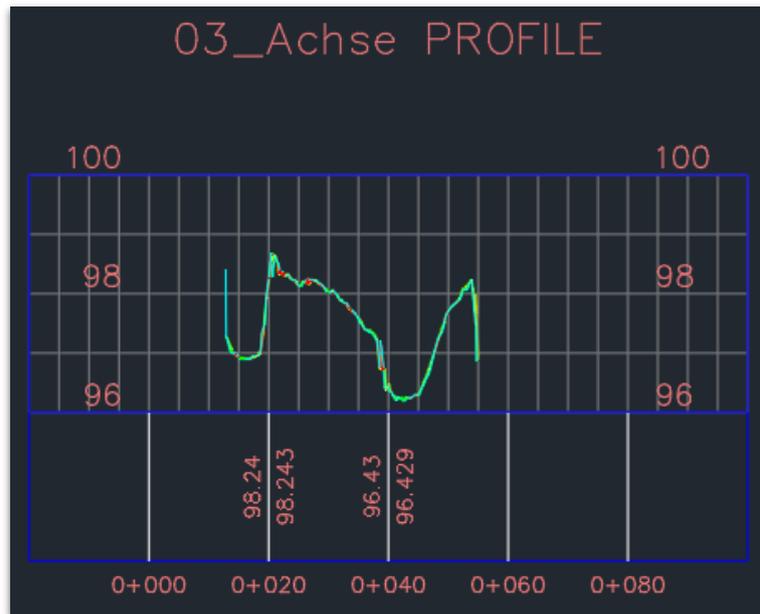


Abbildung 128: Längsschnitt 3 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

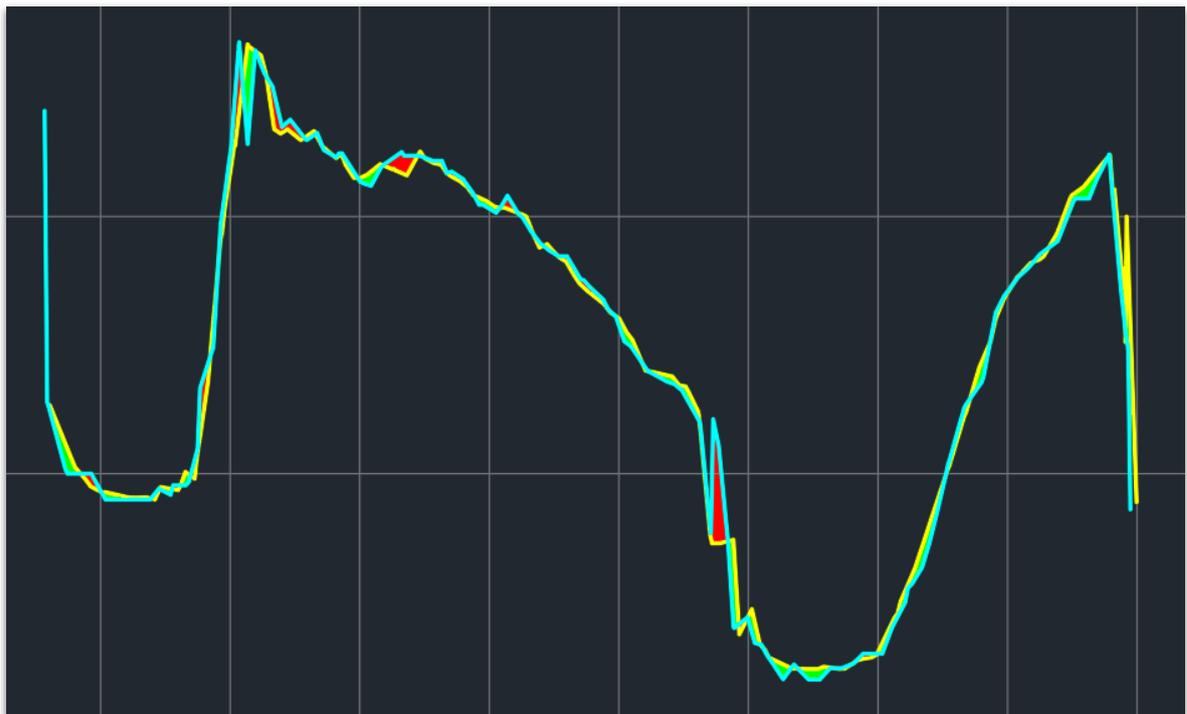


Abbildung 129: Detail Längsschnitt 3 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

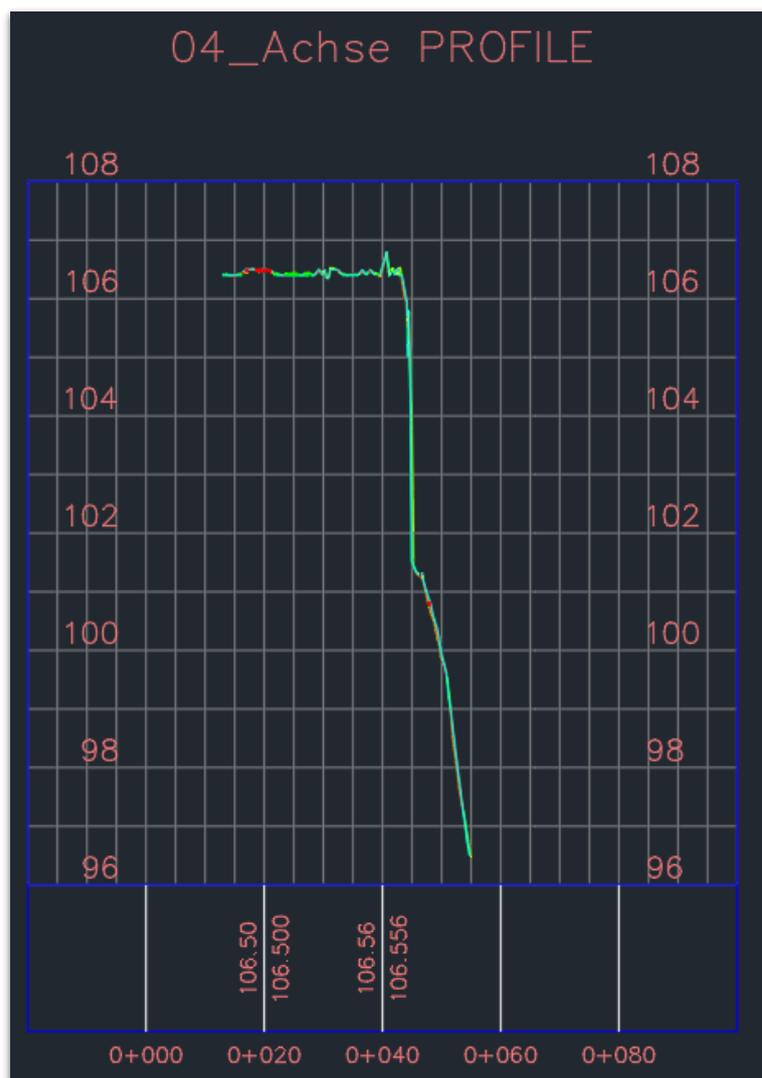


Abbildung 130: Längsschnitt 4 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

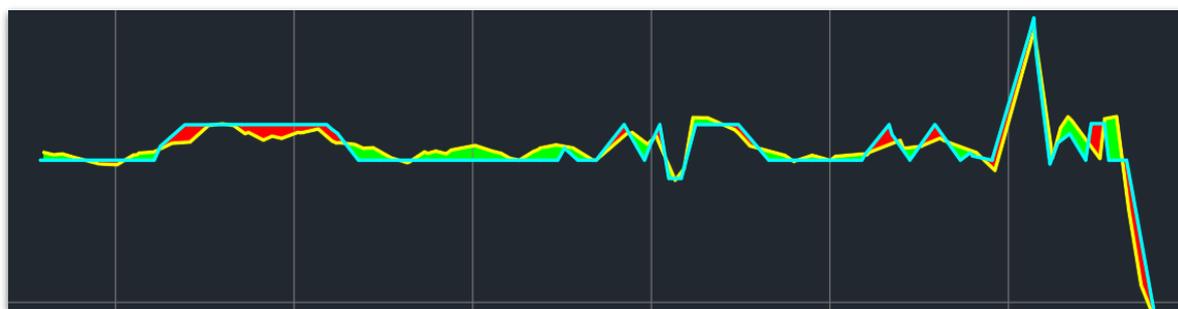


Abbildung 131: Detail Längsschnitt 4 – DGM 1+7. EIGENE DARSTELLUNG.

8.3.2.4 Ergebnis

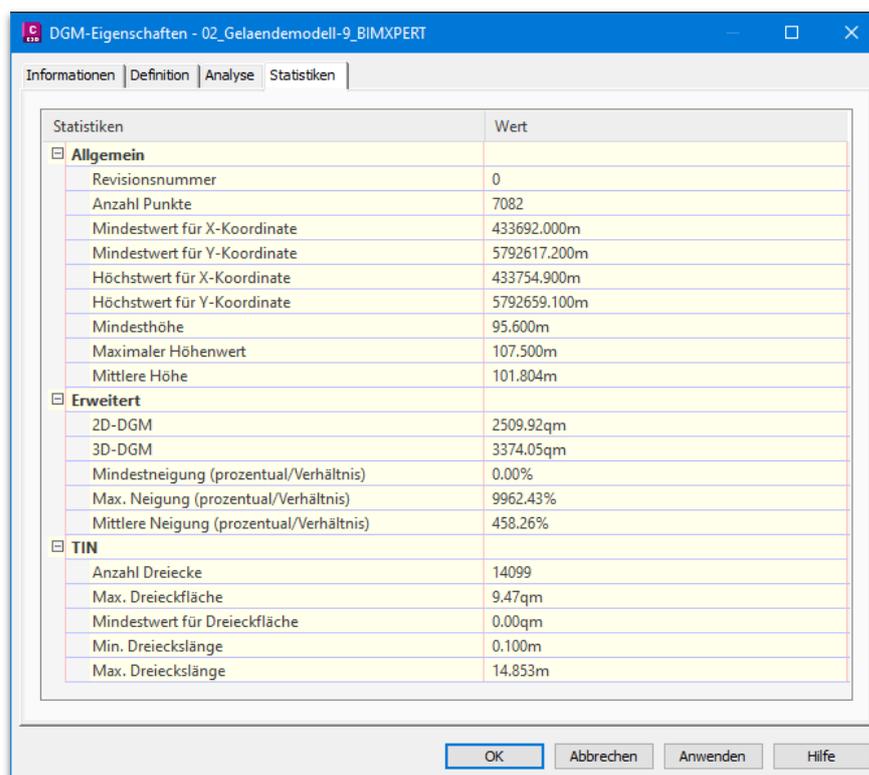
Die 2D-Fläche des DGMs 7 beträgt 2506,71 m², die 3D-Fläche 3545,55 m² (s. Abb. 122). Das entspricht einer Oberflächenabnahme von 3,21 m² bzw. einem Oberflächenzuwachs

von 171,12 m² zum DGM 1 (s. Abb. 84). Der prozentuale Unterschied beträgt somit 0,13 % und 5,07 %. Aus der Statistik des Triangulierten Mengenmodells des Vergleichs der Geländemodelle 1 und 7 ergibt sich in der Abtrags- und Auftragsmenge ein Wert von 78,88 m³ bzw. 75,94 m³ (s. Abb. 123). In den erstellten Längsschnitten 1 – 4 ist eine Vielzahl an Schraffuren für Ab- und Auftragsmengen zu erkennen. In den Details ist nicht auszumachen, dass ein Schnitt deutlich über oder unter dem anderen verläuft. Sie wechseln sich stetig ab. Dies wird durch die ähnlichen Werte der Ab- und Auftragsmengen bestätigt. (s. Abb. 124 – 131).

8.4 Vergleich Autodesk Civil 3D und DATAflor BIMXPRT

8.4.1 Geländemodell 8 – Quick-DGM

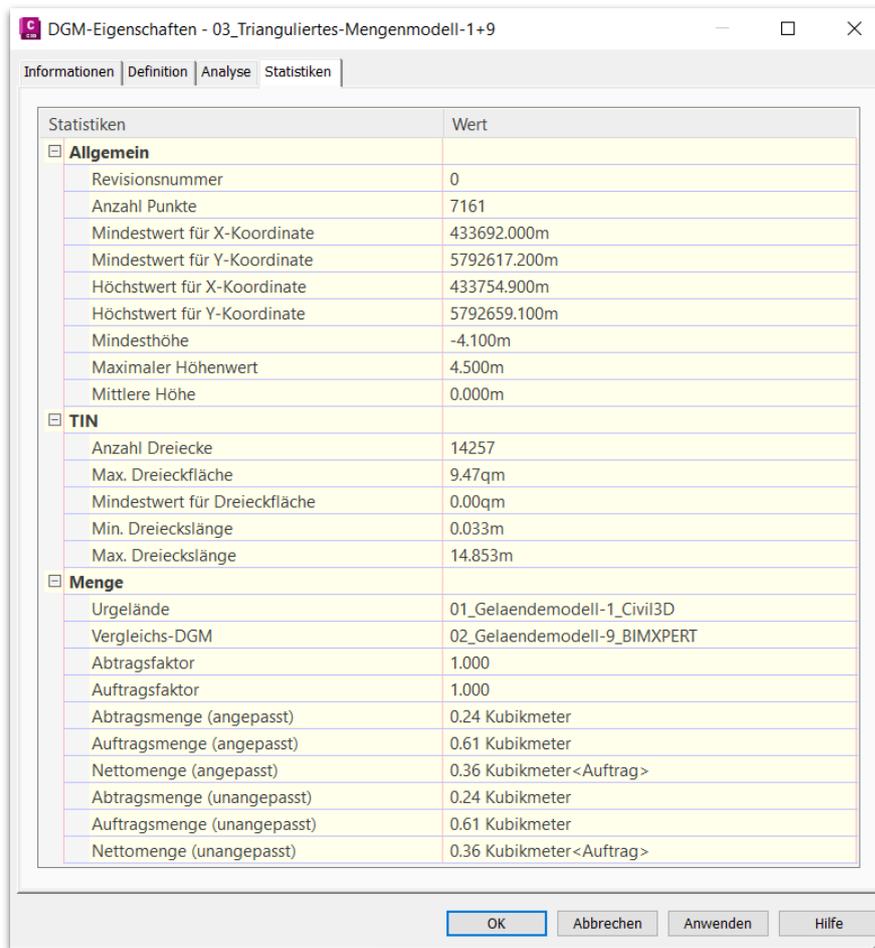
8.4.1.1 DGM-Eigenschaften – Geländemodell 8



Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	7082
Mindestwert für X-Koordinate	433692.000m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.200m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.900m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.100m
Mindesthöhe	95.600m
Maximaler Höhenwert	107.500m
Mittlere Höhe	101.804m
Erweitert	
2D-DGM	2509.92qm
3D-DGM	3374.05qm
Mindestneigung (prozentual/Verhältnis)	0.00%
Max. Neigung (prozentual/Verhältnis)	9962.43%
Mittlere Neigung (prozentual/Verhältnis)	458.26%
TIN	
Anzahl Dreiecke	14099
Max. Dreiecksfläche	9.47qm
Mindestwert für Dreiecksfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.100m
Max. Dreieckslänge	14.853m

Abbildung 132: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 8. EIGENE DARSTELLUNG.

8.4.1.2 Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+8



Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	7161
Mindestwert für X-Koordinate	433692.000m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.200m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.900m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.100m
Mindesthöhe	-4.100m
Maximaler Höhenwert	4.500m
Mittlere Höhe	0.000m
TIN	
Anzahl Dreiecke	14257
Max. Dreiecksfläche	9.47qm
Mindestwert für Dreiecksfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.033m
Max. Dreieckslänge	14.853m
Menge	
Urgelände	01_Gelaendemodell-1_Civil3D
Vergleichs-DGM	02_Gelaendemodell-9_BIMXPRT
Abtragsfaktor	1.000
Auftragsfaktor	1.000
Abtragsmenge (angepasst)	0.24 Kubikmeter
Auftragsmenge (angepasst)	0.61 Kubikmeter
Nettomenge (angepasst)	0.36 Kubikmeter<Auftrag>
Abtragsmenge (unangepasst)	0.24 Kubikmeter
Auftragsmenge (unangepasst)	0.61 Kubikmeter
Nettomenge (unangepasst)	0.36 Kubikmeter<Auftrag>

Abbildung 133: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+8. EIGENE DARSTELLUNG.

8.4.1.3 Höhenpläne DGM 1+8

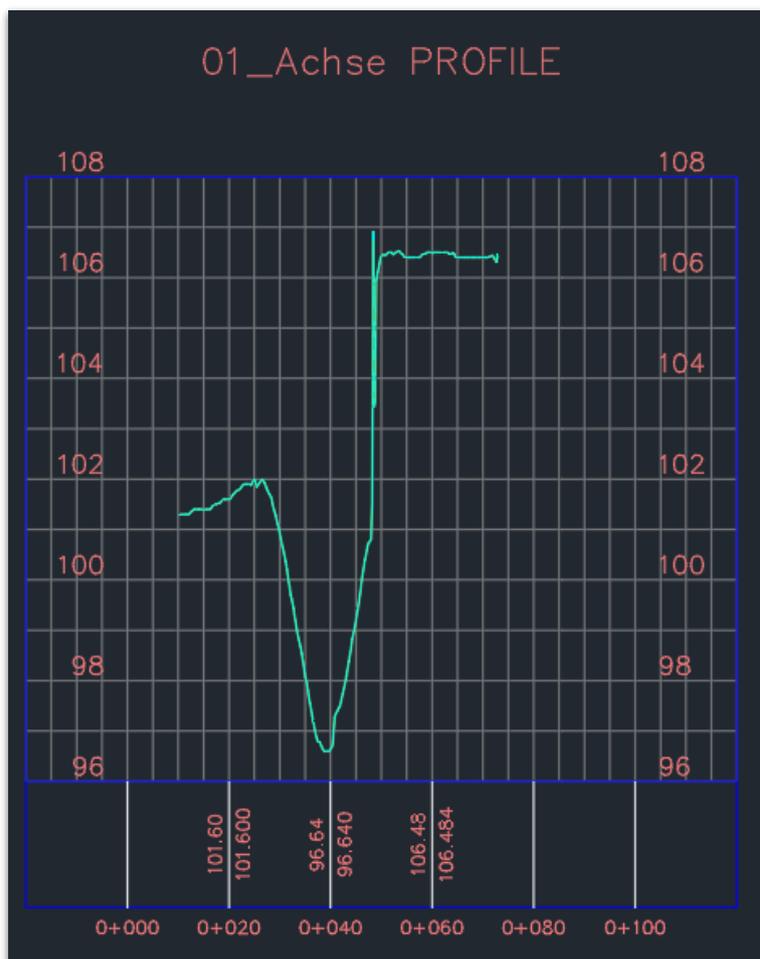


Abbildung 134: Längsschnitt 1 – DGM 1+8. EIGENE DARSTELLUNG.

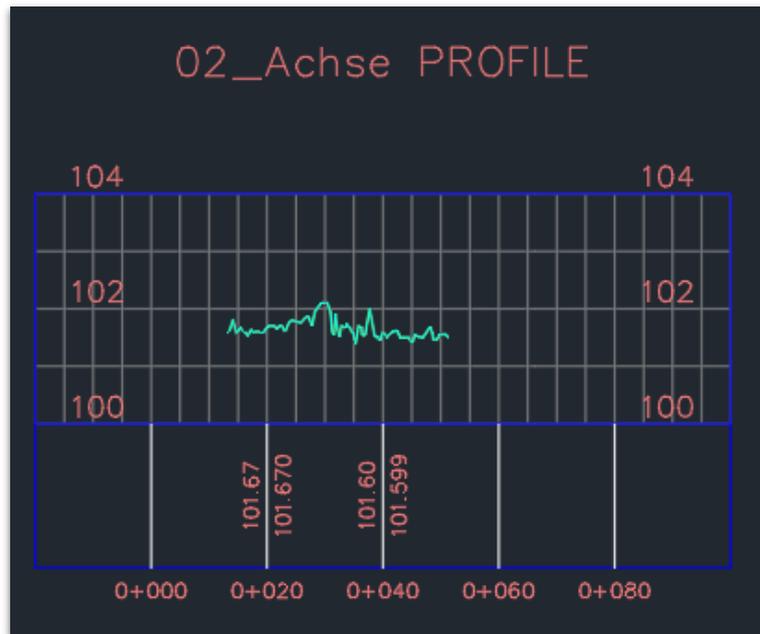


Abbildung 135: Längsschnitt 2 – DGM 1+8. EIGENE DARSTELLUNG.

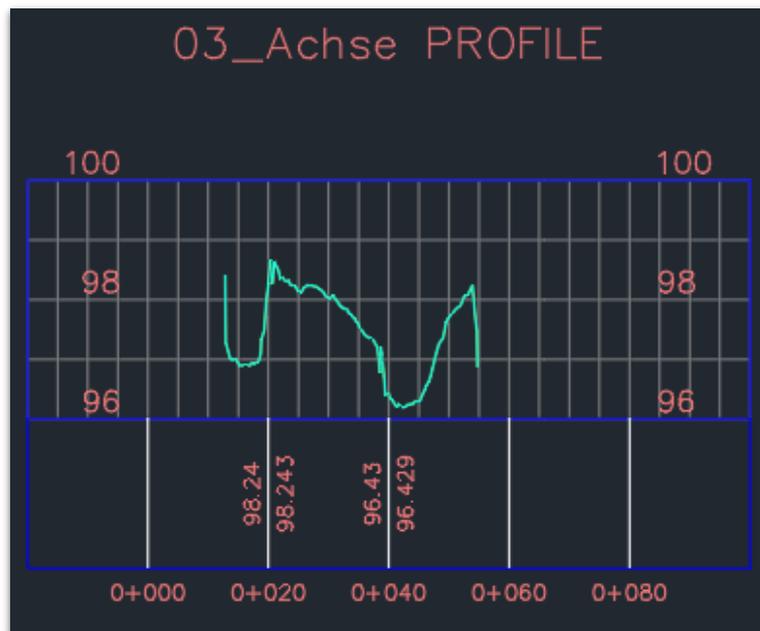


Abbildung 136: Längsschnitt 3 – DGM 1+8. EIGENE DARSTELLUNG.



Abbildung 137: Längsschnitt 4 – DGM 1+8. EIGENE DARSTELLUNG.

8.4.1.4 Ergebnis

Die 2D-Fläche des DGMs 8 beträgt 2509,92 m², die 3D-Fläche 3374,05 m² (s. Abb. 132). Das entspricht einer Oberflächenabnahme von 0,00 m² bzw. 0,38 m² zum DGM 1 (s. Abb. 84). Der prozentuale Unterschied beträgt somit 0,00 % und 0,01 %. Aus der Statistik des Triangulierten Mengenmodells des Vergleichs der Geländemodelle 1 und 8 ergibt sich in der Abtrags- und Auftragsmenge ein Wert von 0,24 m³ bzw. 0,61 m³ (s. Abb. 133). In den erstellten Längsschnitten 1 – 4 sind keine Schraffuren von Abtrags- oder Auftragsmengen zu erkennen. (s. Abb. 134 – 137).

8.4.2 Geländemodell 9 – BricsCAD

8.4.2.1 DGM-Eigenschaften – Geländemodell 9

Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	7286
Mindestwert für X-Koordinate	433691.963m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.234m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.863m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.074m
Mindesthöhe	95.635m
Maximaler Höhenwert	107.488m
Mittlere Höhe	101.808m
Erweitert	
2D-DGM	2507.42qm
3D-DGM	3418.68qm
Mindestneigung (prozentual/Verhältnis)	0.00%
Max. Neigung (prozentual/Verhältnis)	552465.98%
Mittlere Neigung (prozentual/Verhältnis)	887.53%
TIN	
Anzahl Dreiecke	14511
Max. Dreieckfläche	9.52qm
Mindestwert für Dreieckfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.002m
Max. Dreieckslänge	14.895m

Abbildung 138: DGM-Eigenschaften – Geländemodell 9. EIGENE DARSTELLUNG.

8.4.2.2 Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+9

Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	70304
Mindestwert für X-Koordinate	433692.000m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.234m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.863m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.074m
Mindesthöhe	-5.624m
Maximaler Höhenwert	5.561m
Mittlere Höhe	0.002m
TIN	
Anzahl Dreiecke	140231
Max. Dreieckfläche	9.44qm
Mindestwert für Dreieckfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.000m
Max. Dreieckslänge	14.828m
Menge	
Urgelände	01_Gelaendemodell-1_Civil3D
Vergleichs-DGM	02_Gelaendemodell-8_BIMXPRT
Abtragsfaktor	1.000
Auftragsfaktor	1.000
Abtragsmenge (angepasst)	34.57 Kubikmeter
Auftragsmenge (angepasst)	39.83 Kubikmeter
Nettomenge (angepasst)	5.26 Kubikmeter<Auftrag>
Abtragsmenge (unangepasst)	34.57 Kubikmeter
Auftragsmenge (unangepasst)	39.83 Kubikmeter
Nettomenge (unangepasst)	5.26 Kubikmeter<Auftrag>

Abbildung 139: Trianguliertes Mengenmodell DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

8.4.2.3 Höhenpläne DGM 1+9

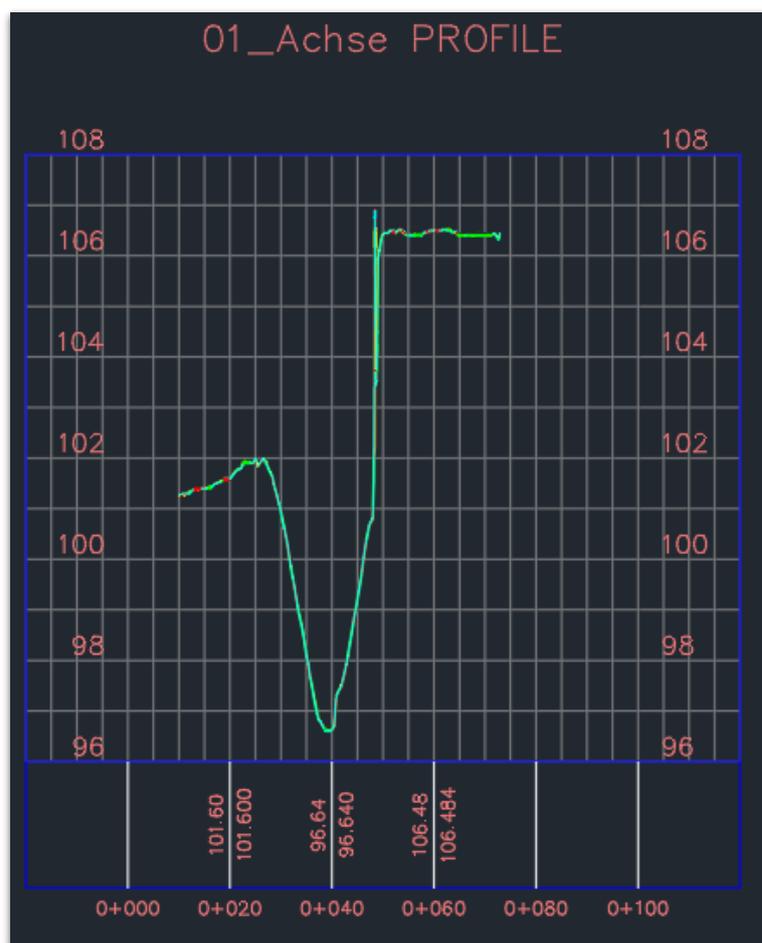


Abbildung 140: Längsschnitt 1 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

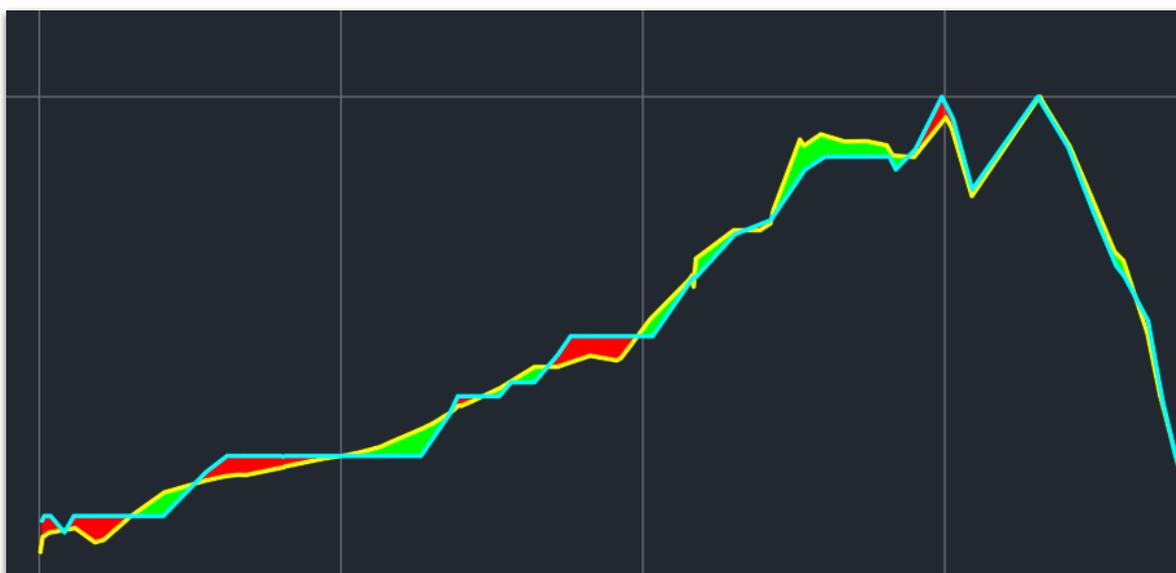


Abbildung 141: Detail Längsschnitt 1 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

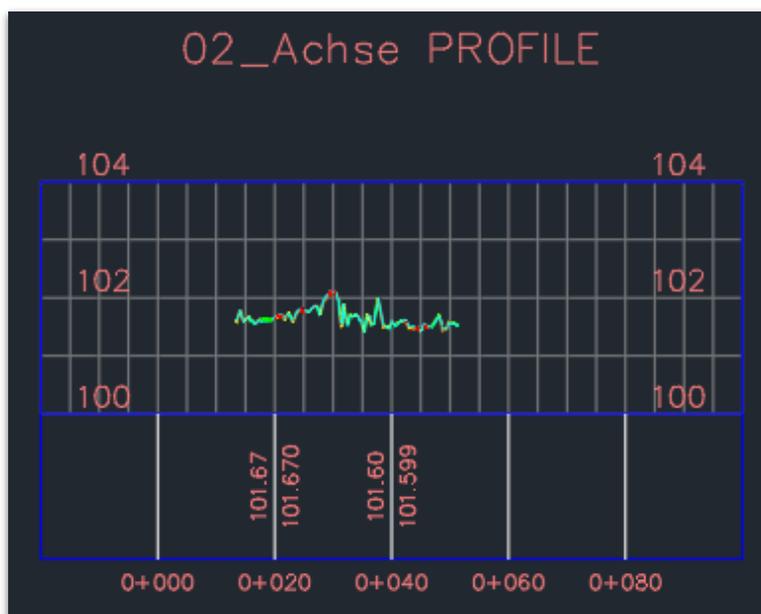


Abbildung 142: Längsschnitt 2 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

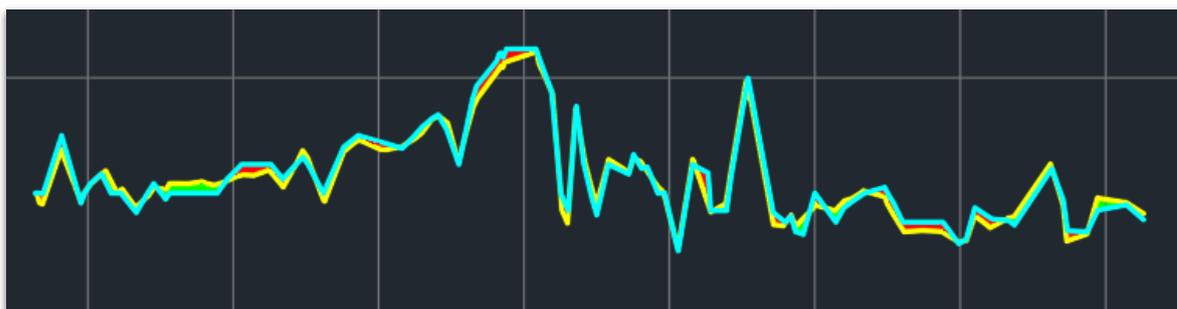


Abbildung 143: Detail Längsschnitt 2 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

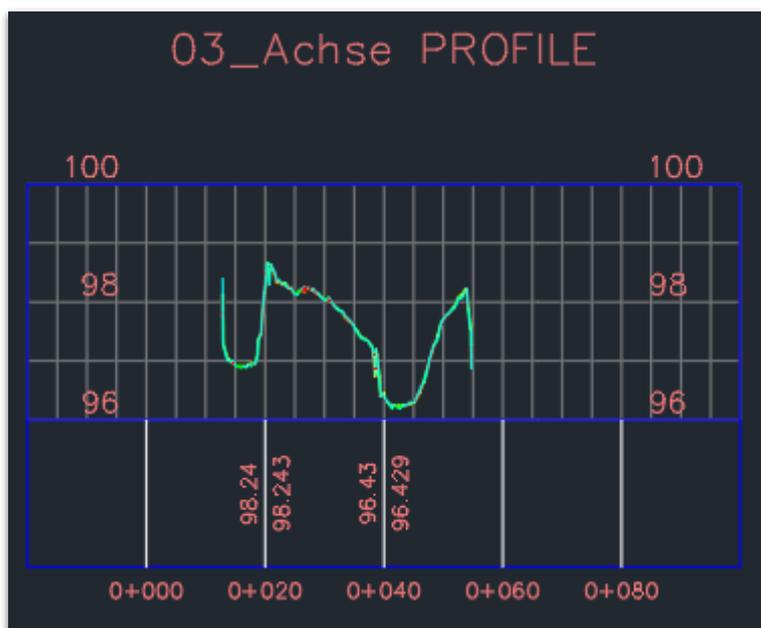


Abbildung 144: Längsschnitt 3 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

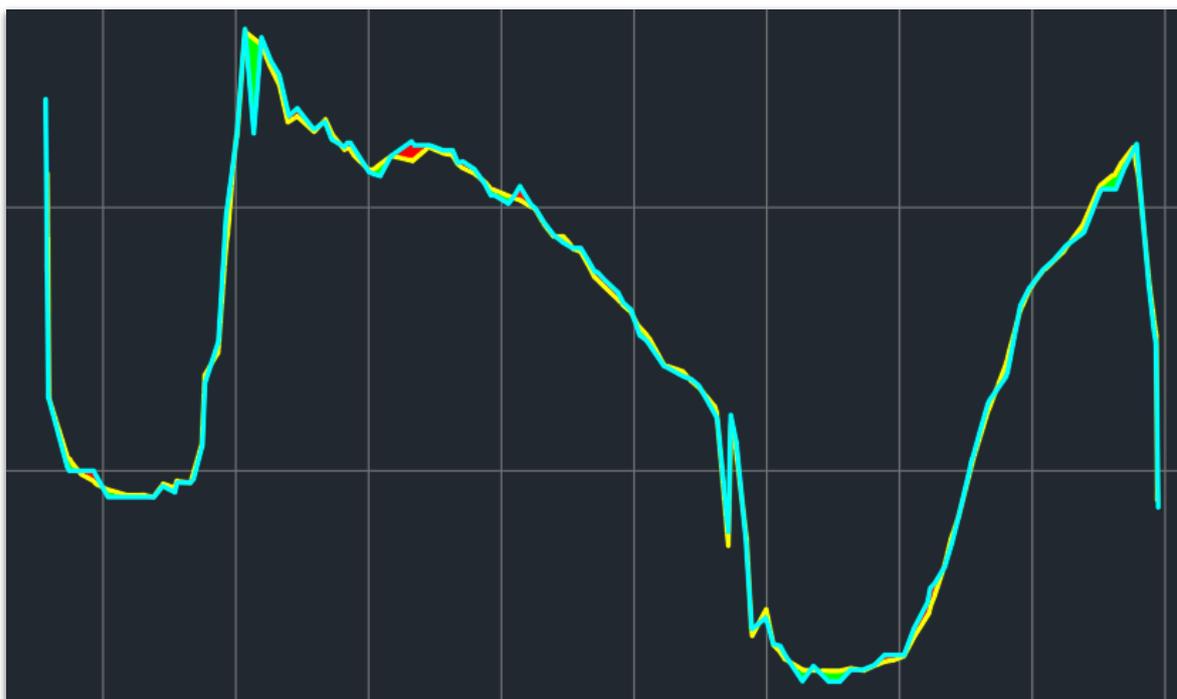


Abbildung 145: Detail Längsschnitt 3 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

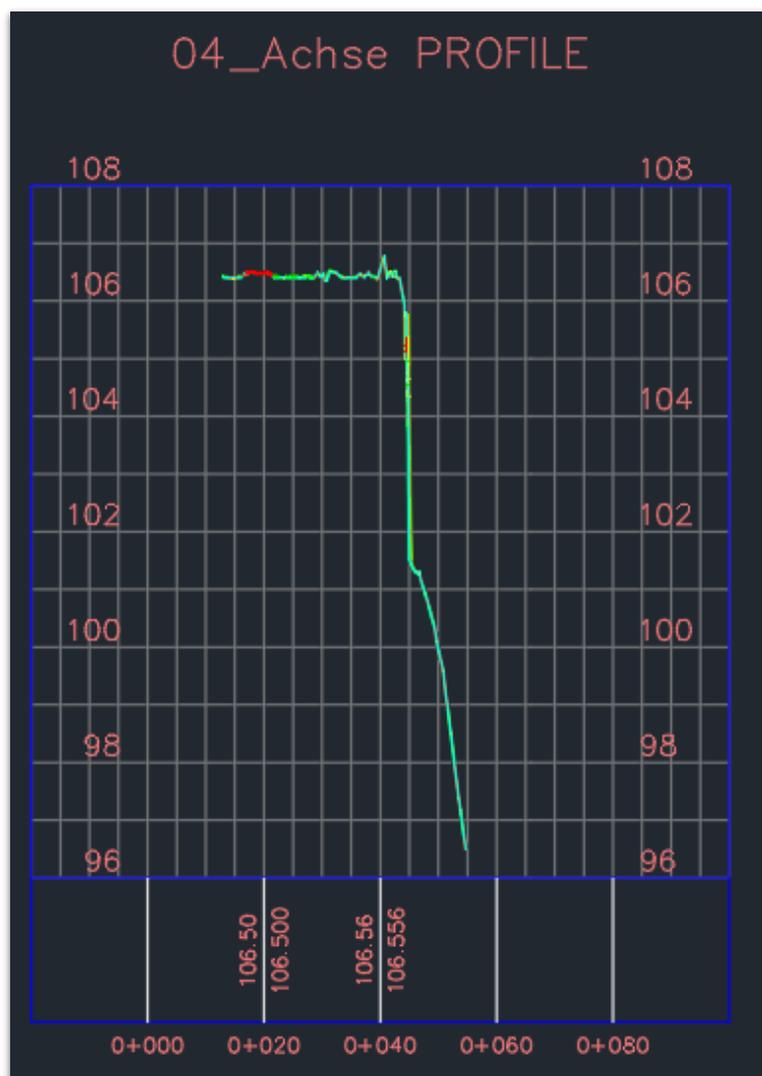


Abbildung 146: Längsschnitt 4 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

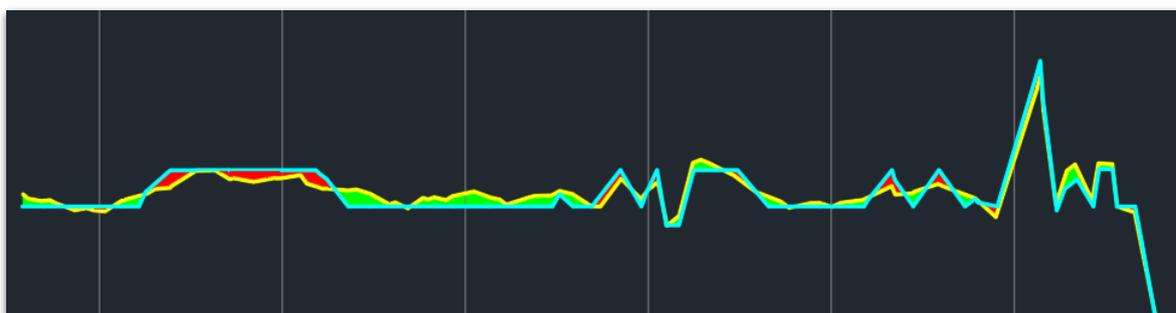


Abbildung 147: Detail Längsschnitt 4 – DGM 1+9. EIGENE DARSTELLUNG.

8.4.2.4 Ergebnis

Die 2D-Fläche des DGMs 9 beträgt 2507,42 m², die 3D-Fläche 3418,68 m² (s. Abb. 138). Das entspricht einer Oberflächenabnahme von 2,5 m² bzw. Oberflächenzunahme von

44,52 m² zum DGM 1 (s. Abb. 84). Der prozentuale Unterschied beträgt somit 0,1 % und 1,31 %. Aus der Statistik des Triangulierten Mengenmodells des Vergleichs der Gelände- modelle 1 und 9 ergibt sich in der Abtrags- und Auftragsmenge ein Wert von 34,57 m³ bzw. 39,83 m³ (s. Abb. 139). In den erstellten Längsschnitten 1 – 4 ist eine Vielzahl an Schraffuren für Ab- und Auftragsmengen zu erkennen. In den Details ist nicht auszumachen, dass ein Schnitt deutlich über oder unter dem anderen verläuft. Sie wechseln sich stetig ab. Dies wird durch die ähnlichen Werte der Ab- und Auftragsmengen bestätigt. (s. Abb. 140 – 147).

8.5 Übersicht

Tabelle 7: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse. EIGENE DARSTELLUNG.

Geländemodell	DGM-Eigenschaften						Trianguliertes Mengenmodell	
	2D-Fläche			3D-Fläche			Abtragsmenge in m ³	Auftragsmenge in m ³
	in m ²	Oberflächenzuwachs/ -abnahme in m ²	Oberflächenzuwachs/ -abnahme in %	in m ²	Oberflächenzuwachs/ -abnahme in m ²	Oberflächenzuwachs/ -abnahme in %		
1 - Civil3D (Ursprungs-DGM)	2509,92			3374,43				
Die Reihenfolge der Vergleichs-DGMs erfolgt absteigend von den geringsten bis zu den größten Abweichungen im Vergleich zum Ursprungs-DGM.								
5 - ArchiCAD	2509,92	0,00	0,00	3374,23	- 0,20	- 0,01	0,05	0,06
6 - Vectorworks	2509,92	0,00	0,00	3374,17	- 0,26	- 0,01	0,28	0,06
8 - BIMXPRT	2509,92	0,00	0,00	3374,05	- 0,38	- 0,01	0,24	0,61
2 - Revit	2509,92	0,00	0,00	3376,11	1,68	0,05	0,38	0,86
4 - Revit	2509,93	0,01	0,00	3385,72	11,29	0,33	0,19	16,54
9 - BIMXPRT	2507,42	- 2,50	- 0,10	3418,68	44,52	1,31	34,57	39,83
7 - Vectorworks	2506,71	- 3,21	- 0,13	3545,55	171,12	5,07	78,88	75,94
3 - Revit	2509,87	- 0,05	- 0,002	3084,55	- 289,88	- 9,40	304,09	465,99

9 BEWERTUNG UND DISKUSSION

9.1 Beantwortung der Forschungsfragen

9.1.1 Anforderungen an Grundlagendaten im BIM-Prozess

Aus der Analyse der vorliegenden Leitfäden und Richtlinien aus der Infrastrukturplanung hat sich ergeben, dass die Bestandserfassung grundsätzlich in allen Werken in eine Aufnahme genereller Umgebungsdaten und einer fachspezifischen Vermessung unterteilt wird. Die Bezeichnungen der jeweiligen Fachmodelle weichen zwar leicht voneinander ab, inhaltlich sind sie jedoch nahezu identisch. In dieser Arbeit wurden die Bezeichnungen der Fachmodelle ‚Umwelt‘ und ‚Vermessung‘ gewählt. Zu den Umgebungsdaten zählen nach den ermittelten Anforderungen Daten der jeweiligen Vermessungsämter wie beispielsweise Digitale Geländemodelle, Katasterdaten und städtebauliche Gegebenheiten. In den Richtlinien und Leitfäden werden für das Digitale Geländemodell im Fachmodell ‚Umgebung‘ Gitterweiten von einem bis zehn Meter vorgeschlagen. Für das DGM der Vermessung werden keine genauen Werte vorgegeben. Es wird darauf verwiesen, dass die Gitterweiten je nach Leistungsphase zwischen „vereinfacht“ und „detaillierter“ variieren müssen. Die Genauigkeit sollte sich dabei meiner Meinung nach nicht nur an der durchzuführenden Leistungsphase, sondern auch an dem spezifischen Anwendungsfall orientieren und in enger Absprache zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer festgelegt werden. Es erscheint kaum möglich und sinnvoll allgemeingültige Werte in einer Richtlinie zu definieren, da jeder Anwendungsfall individuell ist und sich vom anderen unterscheidet. Es ist jedoch vorstellbar, dass grobe Richtwerte vorgegeben werden könnten, an denen sich orientiert werden kann. Zusätzlich ist es in meinen Augen wichtig, dass sich die Fachdisziplinen bereits in einem Vorgespräch über die Anforderungen an das Digitale Geländemodell austauschen. In der Praxis werden den Freiraumplaner*innen häufig Vermesserdaten ohne Abstimmung zur Verfügung gestellt, die den Anforderungen für die Freiraumplanung nicht genügen. Oft muss in solchen Fällen eine neue Vermessung durchgeführt oder die bestehende Vermessung ergänzt werden. Dies verursacht Kosten und Wartezeiten, in denen die Planung auf Grund fehlender Daten zum Stillstand kommt. Es müsste bereits vor Durchführung der Vermessung ein enger Austausch zwischen den Fachdisziplinen stattfinden, in dem bestehende Anforderungen definiert und in den AIA festgehalten werden.

Bezüglich der Georeferenzierung wird in allen Richtlinien ausgeführt, dass diese in einem frühen Stadium definiert und schriftlich in den AIA festgehalten werden muss. Demnach müssen mindestens Informationen zum genutzten Bezugssystem der Lage und Höhe und

ein Projektnullpunkt in Weltkoordinaten angegeben werden. Außerdem soll auf mögliche Transformationsparameter für eine Übertragung eines lokalen kartesischen Koordinatensystems in das entsprechende überörtliche Koordinatenreferenzsystem hingewiesen werden. In allen Fällen muss die Georeferenzierung für alle Beteiligten nachvollziehbar sein. Bei möglichen Änderungen wird festgelegt, dass alle Projektbeteiligten unverzüglich schriftlich zu informieren sind. Da die deutschen Vermessungsämter ein einheitliches amtliches Lagebezugs- und Höhensystem verwenden, scheint es nur nachvollziehbar, dass dieses für alle Projekte als Standard festgelegt werden muss. In der Praxis ist jedoch festzustellen, dass statt in ETRS89/UTM in einigen Fällen noch im Gauß-Krüger-Koordinatensystem gearbeitet wird. Dies führt häufig zu Missverständnissen, die durch eine Beachtung der Anforderungen an die Georeferenzierung in den AIA vermieden werden könnten. Eine Ursache für die fortlaufende Nutzung des Gauß-Krüger-Koordinatensystems - vor allem im Hoch- und Ingenieurbau - ist die variable Maßstabsverzerrung im UTM-System. In den Größenordnungen der Freiraumplanung spielt diese in den meisten Fällen keine Rolle. Meiner Meinung nach müsste in allen Fällen der EPSG-Code als Standard in allen AIAs mit aufgenommen werden, da es sogar innerhalb von ETRS89/UTM unterschiedliche Definitionen gibt. Zusätzlich ist es dringend erforderlich, dass alle in den AIA aufgeführten Informationen zur Georeferenzierung in allen Fachmodellen als Eigenschaft übernommen und in IFC mit übergeben werden.

9.1.2 Potenzial aktueller BIM-Software für Digitale Geländemodelle

In einem vorgelagerten Exkurs wurde untersucht, ob IFC-Dateien inklusive ihrer Bruchkanten in allen hier verwendeten BIM-Softwares übernommen und dargestellt werden. Diese Frage kommt aus der Praxis, da teilweise vermutet wird, dass dieses nicht in jeder Software der Fall ist. So wird für Autodesk Revit vermutet, dass keine Bruchkanten angezeigt werden können, da das Programm selbst keine Werkzeuge für die Erstellung von Bruchkanten bietet. Diese Arbeit zeigt, dass alle Programme inklusive Autodesk Revit in der Lage sind IFC-Dateien mit Bruchkanten korrekt zu übernehmen. Generell stellt sich jedoch in Bezug auf Bruchkanten die Frage, wie relevant diese überhaupt (noch) im Kontext der mittlerweile hochgenauen Triangulationen sind. Dabei kommt es meiner Meinung nach ganz auf die angewandte Methode und Detaillierung der Punktedatei an. Eindeutig ist, dass Bruchkanten bei einer Punktwolke eines Bestandsmodells mit einer hohen Punktdichte von beispielsweise 0,1 m aus einer luftgestützten Aufnahme nicht extra definiert werden müssen. Liegt allerdings eine Punktwolke mit geringer Punktdichte, ein elektronisches Handaufmaß oder eine Vermessung mittels Tachymetrie vor, ist es zwingend erforderlich Bruchkanten festzulegen. Außer Frage steht, dass Bruchkanten für Geländemodelle, in denen Objekte der

Planung integriert werden sollen, ebenfalls relevant sind und bleiben. Um so wichtiger ist die Erkenntnis aus dem Test, dass alle Softwares mögliche Bruchkanten übernehmen.

Im nächsten Schritt wurden Geobasisdaten über das Portal OpenGeoData.NI bezogen. Die Homepage ist sehr übersichtlich und leicht verständlich gestaltet. Der Download erfolgte nach wenigen Schritten problemlos. Ein Nachteil ist, dass die Flurgrenzen nur als Gesamtpaket Niedersachsen bezogen werden können und die Datei dadurch sehr groß ist. Außerdem stehen Digitale Geländemodelle als DGM 1 – 50 nicht auf der Website zur Verfügung. Diese müssen weiterhin separat über das LGLN angefordert werden. Da Vermessungsämter auf Landesebene organisiert sind, stehen Geobasisdaten nicht in allen Bundesländern als Open Data zur Verfügung, was den Bezug der Daten teilweise erschwert.

Da die für diese Arbeit zur Verfügung stehenden Geländedaten noch nicht für den direkten Import in eine BIM-Software aufbereitet waren, wurde zusätzlich ein Workflow in CloudCompare durchgeführt. Insgesamt ist die Nutzung der Software auf den ersten Blick nicht sehr intuitiv, auch kann die Sprache nicht von Englisch auf Deutsch umgestellt werden. Kleine Piktogramme neben den Befehlen erleichtern jedoch das Verständnis. Nach kurzer Einarbeitung gelingt es, schnell die gewünschten Befehle problemlos durchzuführen. Der entwickelte Algorithmus für das Filtern von Bodenpunkten funktioniert nach einigen Tests mit unterschiedlichen Werten für die Parameter erstaunlich gut. Die Annahme, dass die Bereinigung auf Grund unzureichend entwickelter Algorithmen ausschließlich manuell erfolgen muss, konnte nicht bestätigt werden. Im Bereich des Steilhangs hatte der Algorithmus jedoch trotz der Angabe ‚Steep slope‘ Probleme, diesen als solchen zu erkennen und filterte ihn heraus. Somit wird eine Kombination aus Algorithmus und manueller Bereinigung empfohlen. Auf Grund der Methode der Photogrammetrie besteht zusätzlich die Schwierigkeit, dass Flächen mit höherem Bewuchs schwer bereinigt werden können, da unter dem Bewuchs keine separaten Bodenpunkte vorhanden sind. Somit liegt die Höhe des erstellten Geländemodells in einigen Bereichen höher als in Realität und führt dementsprechend zu Ungenauigkeiten. Hier wäre eine Aufnahme mittels 3D-Laserscan von Vorteil, da dieser auch durch dichten Bewuchs hindurch Aufnahmen machen kann. Gleichzeitig besteht hier der Vorteil, dass zugehörige Software bereits eigenständig eine Klassifikation von Bodenpunkten durchführen kann. Insgesamt ist positiv hervorzuheben, dass CloudCompare eine Vielzahl an Datenformaten bietet, die importiert und exportiert werden können. So konnte die erstellte Punktedatei dieser Arbeit für alle Wege der Geländemodellerstellung in einem passenden Format exportiert werden. Für eine kostenfreie Software bietet CloudCompare sehr viele Möglichkeiten im Bereich der Punktwolkenbearbeitung.

In Autodesk Civil 3D wurden zunächst die Geobasisdaten aus dem OpenGeoData.NI aufbereitet. Positiv hervorzuheben ist, dass Civil 3D in der Lage ist, XML- und Shape-Dateien zu importieren. Gerade Shape-Dateien können in BIM-Softwares üblicherweise nicht verarbeitet werden. Über den Befehl ‚Ursprung‘ kann die Shape-Datei bearbeitet werden. Über die Möglichkeit der Integration von IFC kann das Fachmodell ‚Umwelt‘ in einem weiteren Schritt in IFC übertragen werden. Als Grundlage für die DGM-Erstellung eignet sich Civil 3D ausgesprochen gut. Die Erstellung über den Projektbrowser ist nicht intuitiv, Autodesk verfügt jedoch bei Fragen zur Anwendung über eine übersichtliche und gut geführte Support-Seite. Bei den Möglichkeiten der Geländemodellerstellung fällt positiv auf, dass es möglich ist, über eine Vielzahl an Dateiformaten Geländemodelle sowohl als Trianguliertes als auch als Raster-DGM zu erstellen.

Zur Erstellung aller Geländemodelle lässt sich festhalten, dass die verschiedenen Wege ohne große Vorkenntnisse in den Programmen nachvollzogen und problemlos angewendet werden konnten. Für einen möglichen anschließenden Vergleich musste ein Dateiformat gefunden werden, welches alle BIM-Programme exportieren und aus denen in Civil 3D wiederum Geländemodelle erstellt werden können. Dafür wurde das DWG-Format gewählt. Der Export wurde erfolgreich und ohne Konflikte ausgeführt. Nach dem Öffnen aller DWG-Dateien in Civil 3D ließ sich feststellen, dass die Programme die Geländemodelle über DWG in unterschiedliche Datentypen übertragen haben. Alle Datentypen konnten in Civil 3D als Grundlage für die Erstellung eines Vergleichs-DGMs genutzt werden. Für den Vergleich wurden die Methoden des Triangulierten Mengenmodells und der Darstellung von Längsschnitten in Höhenplänen gewählt. Beide Workflows konnten erfolgreich für alle Geländemodelle umgesetzt werden.

An dieser Stelle sollen die Ergebnisse aus Kapitel 8 bewertet und eingeordnet werden. Zunächst erfolgt eine Einordnung der erstellten Geländemodelle in Autodesk Revit. Die Möglichkeit der Erstellung eines DGMs über ‚Topographie verknüpfen‘ im XML-Format setzt voraus, dass der / die Anwender*in auch Autodesk Civil 3D und die Autodesk Cloud Lösung als Software zur Verfügung hat. So wird das Geländemodell in Civil 3D erstellt und in Revit eine Verknüpfung erstellt. Mögliche Änderungen an dem Geländemodell in Revit werden über die Cloud direkt in Revit übernommen. Die verknüpfte Topographie lässt sich mit gängigen Werkzeugen in Revit bearbeiten. Die Werte des triangulierten Mengenmodells ergeben nur eine sehr geringe Abweichung zum Geländemodell in Revit. Es ist jedoch erstaunlich, dass überhaupt eine Abweichung vorhanden ist, da die Topographie verknüpft ist und somit ein exaktes Spiegelbild ergeben müsste. Anzumerken ist, dass in einem vorherigen Test mit einer höheren Punktdichte eine Abweichung von 0 % vorlag. Die Triangulation

unterscheidet sich minimal. Es kann abschließend nicht geklärt werden, woraus die Abweichung resultiert. Festzuhalten ist jedoch, dass dieser Weg das im Vergleich genaueste Geländemodell ergab. Der zweite Weg über den Import einer DWG-Datei mit Höhenlinien ergab hingegen das ungenaueste Ergebnis. Durch die Auswahl von Höhenlinien mit einem Nebenintervall von 2 m und einem Hauptintervall von 10 m bestehen auf Grund der Interpolation und Glättung zwischen den Höhenlinien sehr große Abweichungen zum eigentlichen Geländeverlauf. Auch wenn hier kleinere Werte eingestellt werden könnten, ist allgemein davon abzuraten, Geländemodelle aus Höhenlinien zu erstellen, da mit eben solchen starken Ungenauigkeiten gerechnet werden muss. Die dritte Möglichkeit in Revit ist der Weg über den Import einer Punktedatei im TXT-Format. Das Ergebnis zeigt, dass diese Möglichkeit im Verhältnis betrachtet ebenfalls geringe Abweichungen aufweist. Nur in Längsschnitt vier konnte eine Schraffur für eine Auftragsmenge von ca. 16 m³ festgestellt werden. Insgesamt kann für die Erstellung von Geländemodellen in Autodesk Revit festgehalten werden, dass die Methode der Topographie-Verknüpfung am genauesten, jedoch durch die benötigte Software am ressourcenaufwendigsten ist. Die dritte Methode bietet eine genaue gute Alternative. Von einer Erstellung über Höhenlinien wird abgeraten.

In Graphisoft ArchiCAD konnte nur ein Weg für die Erstellung eines DGMs getestet werden. Auch wenn es möglich ist, Punktwolken zu importieren, konnte nicht ermittelt werden, ob sich diese in sogenannte Freiflächen umwandeln lassen. Möglich ist jedoch der Import einer Punktedatei im txt-Format. Die Abweichungen sind gegenüber dem Import der Punktedatei in Revit noch geringer. In den Schnitten konnten keine Abweichungen festgestellt werden, somit ist die Erstellung eines Geländemodells in ArchiCAD sehr genau.

Vectorworks bietet zwei Methoden der Erstellung eines Geländemodells. Zum einen kann ebenfalls eine TXT-Datei importiert, zum anderen ein Geländemodell über eine Punktwolke im LAS-Format erstellt werden. Das Geländemodell über die TXT-Datei weist vergleichbare Unterschiede zu den Methoden in Revit und ArchiCAD auf. Das Geländemodell über die Punktwolke im LAS-Format hingegen weist mit ca. 75 m³ für Auf- und Abtragsmengen deutliche Unterschiede zum DGM 1 auf. Die Kurven beider Längsschnitte verlaufen sehr unterschiedlich und erzeugen so diese Mengen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass das Urelände DGM 1 aus der TXT- und nicht aus der LAS-Datei erstellt wurde. Auch wenn dieselbe Punktwolke aus CloudCompare exportiert wurde, scheint es Unterschiede in den Punktwerten zu geben.

In BIMXPRT der Firma DATAflor wurden ebenfalls die Wege über den Import einer Punktedatei im TXT-Format und die Generierung eines Geländemodells aus einer importierten

Punktwolke im LAS-Format getestet. Die Ergebnisse sehen denen aus Vectorworks sehr ähnlich aus. Während die Auftrags- und Abtragsmengen im Quick-DGM jeweils unter 1 m³ liegen, sind die Mengen des Geländemodells auf BricsCAD-Basis mit über 30 m³ deutlich größer. Die zugehörigen Längsschnitte ergeben ebenfalls deutliche Abweichungen. Ein paar der Abweichungen sind jedoch sind denen aus Vectorworks ähnlich, aber nicht identisch. Die LAS-Dateien werden somit unterschiedlich vermascht.

Insgesamt lässt sich zu den Vergleichen festhalten, dass die Topographieverknüpfung aus Revit die genaueste Methode ist und die geringste Rechenleistung erfordert. Alle Wege der Geländemodellerzeugung über die TXT-Datei sind jedoch nicht wesentlich ungenauer und können bedenkenlos als Alternative genutzt werden. Größere Abweichungen bestehen in den Mengen der Geländemodelle über die LAS-Datei, obwohl TXT- und LAS-Datei auf derselben Datengrundlage erstellt wurden. Auch wenn die Ergebnisse teilweise nur leicht voneinander abweichen, muss festgehalten werden, dass die Vermaschungen der Programme auf Grundlage unterschiedlicher Algorithmen stattfinden. Noch einmal anzumerken ist, dass als Grundlage eine Punktedatei mit einem Punktabstand von 0,5 m genutzt wurde, da Soft- und / oder Hardware an ihre Grenzen gestoßen ist. Es kann an dieser Stelle nicht beurteilt werden, was hier der ausschlaggebende Faktor war. Je nach Projektanforderung wird eine große Rechenleistung mit entsprechender Hard- und Software benötigt. Es ist außerdem möglich, mit kleineren Geländeabschnitten zu arbeiten, die später zusammengesetzt werden. Der wichtigste Schritt für die gesamte nachfolgende Bearbeitung ist der Prozess der Punktwolkenaufnahme und -aufbereitung. Hier werden grundlegende Parameter hinsichtlich der Genauigkeit gesteuert. Beeinflussbar sind hier insbesondere die Punktdichte und die Filterung von Bodenpunkten und Nicht-Bodenpunkten durch die Art der Aufnahme und die händische Nachbearbeitung. Die Güte der bearbeiteten Punktwolkendaten ist das entscheidende Kriterium für die weitere DGM-Ableitung. Die Aufbereitung fand in dieser Arbeit als vorgelagerter, einheitlicher Prozess statt, ebenso die Punktereduktion. Z.T. bieten Softwares interne Tools zur Punktereduktion, wie sich diese auswirken wurde nicht untersucht. Interessant wäre der Vergleich mit dem DGM1 der Geobasisdaten. Im Gegensatz zur Überarbeitung mit CloudCompare resultieren die Bodenpunkte aus der direkten Laserscan-Messung, sodass eine Einschätzung der Genauigkeit der CloudCompare-Algorithmen möglich wäre.

Der Vergleich dieser Arbeit soll einen induktiven Beitrag zur Diskussion über Geländemodelle als Bestandsdaten in der Freiraumplanung leisten. Sie darf nicht als empirische Arbeit betrachtet werden.

9.1.3 Werkzeuge für die Umsetzung der gebauten Landschaft

Die getesteten Befehle des Plug-ins ‚Environment‘ werden insgesamt als sinnvolle Ergänzung für die Freiraumplanung in Revit bewertet. Gerade die Tools für die Positionierung der Geschossdecken und Mauern auf die Topographie des Geländemodells sind positiv hervorzuheben. Auch die automatische Generierung der Kantensteine spart dem / der Planer*in im Vergleich zum Befehl ‚Geländer‘ den Schritt der Erstellung einer Öffnung in der Geschossdecke. Die Werkzeuge zur Modifikation des Geländes sind in meinen Augen mit Vorsicht zu nutzen. Nach dem ersten Eindruck sind die Auswirkungen der Befehle auf das Modell kaum nachvollziehbar. Beispielsweise wirken mögliche Steuerungsparameter wie das sogenannte ‚Smoothing Level‘ mit Werten zwischen 1 und 4 zufällig gewählt. Welcher Prozess im Hintergrund jedoch stattfindet, kann nicht beurteilt werden. Das Tool für die Definition des Projekt-Basispunkts und des dazugehörigen Koordinatenreferenzsystems hat großes Potenzial. Über die Definition eines ‚Shared Reference Points‘ können bisher zwar Koordinaten festgelegt, aber kein zugehöriges Bezugssystem definiert werden. Verbessert werden müsste meiner Meinung nach die Genauigkeit der Koordinaten. Die Begrenzung der Nachkommastellen liefert leider im Vergleich zur üblichen Definition des Projekt-Basispunkts ein ungenaueres Ergebnis. Dieses könnte in nachfolgenden Versionen verbessert werden.

9.2 Ausblick

Die gesamte Branche der Landschaftsarchitektur muss zukünftig so aufgestellt sein, dass sie an einem BIM-Prozess beteiligt und in diesen integriert werden kann. Derzeit stehen dafür noch zu wenige Leitfäden, Richtlinien und Workflows für die Anwendung zur Verfügung. Zukünftig müssen eben diese in enger fachlicher Beteiligung und Absprache mit Landschaftsarchitekt*innen erstellt und geprüft werden. Nur aus der fachlichen Perspektive können spezifische Lösungen für eine Branche so entwickelt werden, dass diese auf die speziellen Bedürfnisse der Anwender*innen zugeschnitten sind. Ein erster Schritt zur Entwicklung eines Workflows für die Bestandsermittlung der Freiraumplanung ist im Rahmen dieser Arbeit entstanden. Alle getesteten BIM-Softwares sind demnach für die Erstellung von Digitalen Geländemodellen geeignet und anwenderfreundlich. Für die Weiterbearbeitung wurden Werkzeuge des Plug-ins ‚Environment‘ in der Software Autodesk Revit getestet. Diese bieten großes Potenzial für die BIM-gerechte Bearbeitung von Geländemodellen in Revit. Im Rahmen dieser Arbeit konnte jedoch nicht die gesamte Werkzeug-Palette getestet werden. Auch die Weiterbearbeitung mit Geländemodellen in den alternativen Soft-

wares wurde nicht durchgeführt. Gelingt hier eine fehlerfreie Weiterbearbeitung und Modellierung auch mit großem Koordinatenabstand zum Nullpunkt? Hier können weitere Forschungsarbeiten anknüpfen, um die Thematik zu vertiefen. Dem Schritt der hier durchgeführten Überprüfung des Imports der acht Geländemodelle in die BIM-Softwares könnte eine weitergehende wichtige Einordnung vorgelagert werden. Zusätzlich könnten die Auswirkungen der Bearbeitung der Originalpunktwolken untersucht werden. Hierzu käme als Vergleichsobjekt eine mit der LiDAR-Technologie aufgenommene Punktwolke aus der Landesvermessung in Frage. Diese könnte beispielsweise mit der generierten Punktwolke mittels Photogrammetrie und reduzierten Punktwolken aus CloudCompare systematisch verglichen und bewertet werden.

Ebenfalls unberücksichtigt bleibt die Übergabe der Fachmodelle in IFC. Es müsste überprüft werden, wie die Daten aus den Modellen in der IFC-Datei verarbeitet und angelegt sind. Welche IFC-Klassen stehen zur Verfügung, und wie werden diese und deren Eigenschaften übertragen? Eine weitere wichtige Frage an dieser Stelle betrifft hier zusätzlich die Verortung. Ist es in allen Programmen problemlos möglich, die IFC-Dateien georeferenziert zu exportieren? Resultate zu diesen Fragen bleiben abzuwarten. Fest steht, dass noch viele Fragen im Themenbereich der Arbeit mit BIM in der Landschaftsarchitektur offen sind. Es besteht noch ein großer Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um alle Fragen zu beantworten und die Landschaftsarchitektur auf die Zukunft mit BIM vorzubereiten.

LITERATURVERZEICHNIS

3DS-SCAN (2022): Digitale Geländemodelle (DGM).

https://www.3ds-scan.de/wp-content/uploads/2016/08/cloud_zu_dgm_dom.png (letzter Stand: 16.11.2022).

ARGE BIM4INFRA (2017): Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“.

<https://bim4infra.de/> (letzter Stand: 06.10.2022).

ARGE BIM4INFRA (2019a): Teil 2 – Leitfaden und Muster für Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA).

https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil2.pdf (letzter Stand: 24.11.2022).

ARGE BIM4INFRA (2019b): Teil 3 – Leitfaden und Muster für den BIM-Abwicklungsplan (BAP).

https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/09/BIM4INFRA_AP4_Teil3.pdf (letzter Stand: 24.11.2022).

ARGE BIM4INFRA (2019c): Teil 6 – Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle.

https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil6.pdf (letzter Stand: 06.10.2022).

ARGE BIM4INFRA (2019d): Teil 7 – Handreichung BIM-Fachmodelle und Ausarbeitungsgrad.

https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil7.pdf (letzter Stand: 28.11.2022).

AUTODESK (2020): So geben sie ein Civil-Gelände zwischen Revit und Civil 3D frei.

<https://knowledge.autodesk.com/de/support/civil-3d/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/DEU/How-to-import-a-Civil-toposurface-in-Revit.html> (letzter Stand: 06.10.2022).

AUTODESK (2022): Die wichtigsten Funktionen von Civil 3D.

<https://www.autodesk.de/products/civil-3d/features> (letzter Stand: 06.10.2022).

AUTODESK APP STORE (2022): Environment.

<https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/In-dex?id=8520754940993057579&appLang=en&os=Win64> (letzter Stand: 24.11.2022).

AUTODESK BIM 360 (2023): Jetzt herunterladen: Autodesk Desktop Connector – Der Komfort ihres Windows-Desktops kombiniert mit der Flexibilität der Cloud.

<https://www.autodesk.de/bim-360/desktop-connector/> (letzter Stand: 26.03.2023).

AUTODESK HELP (2018): Informationen zum Erstellen eines triangulierten Mengenmodells. <https://knowledge.autodesk.com/de/support/civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloud-help/2016/DEU/Civil3D-UserGuide/files/GUID-34F74D97-A43A-4710-940B-6A9FE8A78E3E-htm.html> (letzter Stand: 30.11.2022).

AUTODESK HELP (2019): Informationen zu Höhenplänen. <https://knowledge.autodesk.com/de/support/civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloud-help/2019/DEU/Civil3D-UserGuide/files/GUID-C2C782D2-899C-4B0B-9E61-9D72A80AFC80-htm.html> (letzter Stand: 03.12.2022).

AUTODESK SUPPORT (2021): So laden Sie das Zusatzmodul Site Designer für Revit herunter. <https://knowledge.autodesk.com/de/support/revit/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/DEU/Revit-Where-to-get-support-for-Site-Designer.html> (letzter Stand: 30.11.2022).

BECKER, R.; CLEMEN, C. & WUNDERLICH, T. (2022): BIM in der Ingenieurvermessung. In: DVW e. V. und Runder Tisch GIS e. V. [Hrsg.]: Leitfaden Geodäsie und BIM. Version 3.1. Wichmann Verlag, Bühl/München, Seite 83 - 95.

BEERETZ & ROCHER GBR (2022): Cloud Compare Schulungen. <https://www.3ds-scan.de/de/training/cloudcompare/#:~:text=CloudCompare%20ist%20eine%20plattformunabh%C3%A4ngige%20Anwendung,und%20effizient%20miteinander%20zu%20vergleichen> (letzter Stand: 06.10.2022).

BEZIRKSREGIERUNG KÖLN (2020): ETRS89/UTM - Das amtliche Lagebezugssystem in Nordrhein-Westfalen. https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/publikationen/abteilung07/pub_geobasis_etr89.pdf (letzter Stand: 06.10.2022).

BLANKENBACH, J. (2017): Bestandsaufnahme, Gebäudeerfassung und BIM. In: Schwarz, Willfried [Hrsg.] (2017): Ingenieurgeodäsie - Handbuch der Geodäsie, herausgegeben von Willi Freeden und Reiner Rummel. Springer Spektrum, Berlin/Heidelberg, S. 23 - 53.

BLANKENBACH, K.; CLEMEN, C. & BECKER, R. (2022): Grundlagen und Informationsmanagement der BIM-Methode. In: DVW e. V. und Runder Tisch GIS e. V. [Hrsg.]: Leitfaden Geodäsie und BIM. Version 3.1. Wichmann Verlag, Bühl/München, Seite 17 - 50.

BMVI – BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (2015): Stufenplan Digitales Planen und Bauen – Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile (letzter Stand: 28.11.2022).

BMVI – BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (2021a): Masterplan BIM-Bundesfernstraßen – Digitalisierung des Planens, Bauens Erhaltens und Betriebs im Bundesfernstraßenbau mit der Methode Building Information Modeling (BIM).

https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/StB/bim-rd-masterplan-bundesfernstraesen.pdf?__blob=publicationFile (letzter Stand: 28.11.2022).

BMVI – BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (2021b): Masterplan BIM Bundesfernstraßen – Rahmendokument: Steckbriefe der Anwendungsfälle – Version 1.0.

https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/StB/bim-rd-anwendungsfalle.pdf?__blob=publicationFile (letzter Stand: 28.11.2022).

BMVI – BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (2021c): Masterplan BIM Bundesfernstraßen – Rahmendokument: Definition der Fachmodelle – Version 1.0.

https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/StB/bim-rd-fachmodelle.pdf?__blob=publicationFile (letzter Stand: 28.11.2022).

BMVI – BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (2021d): Masterplan BIM Bundesfernstraßen – Rahmendokument: Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) – Version 1.0.

https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/StB/bim-rd-aia.pdf?__blob=publicationFile (letzter Stand: 28.11.2022).

BORRMANN, A. (2022): Building Information Modeling für den Infrastrukturbau. In: DVW e. V. und Runder Tisch GIS e. V. [Hrsg.]: Leitfaden Geodäsie und BIM. Version 3.1. Wichmann Verlag, Bühl/München, Seite 38 - 50.

BORRMANN, A. & HEUNECKE, O. (2020): BIM für den Infrastrukturbau. In: DVW e. V. und Runder Tisch GIS e. V. [Hrsg.]: Leitfaden Geodäsie und BIM. Version 2.1. Wichmann Verlag, Bühl/München, Seite 33 - 48.

BORRMANN, A.; KÖNIG, M.; KOCH, C. & BEETZ, J. [Hrsg.] (2015): Building Information Modeling – Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 591 Seiten.

BRÜCKNER, I.; REMY, M. & SCHÖNFELD, M. (2022): Entwicklung einer Methode zur Integration der landschaftspflegerischen Planung bei mit der BIM-Methode umgesetzten Straßenbau-Projekten am Beispiel des BIM-Pilotprojektes A10/A24.

<https://opus.hs-osnabrueck.de/frontdoor/index/index/docId/3699> (letzter Stand: 14.11.2022).

BUILDINGSMART DEUTSCHLAND E. V. (2020): BIM-Klassen der Verkehrswege. bSD Verlag, Berlin, 30 Seiten.

BUILDINGSMART (2022a): 5.4.3.63 IfcSite.

<http://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/IfcSite.htm> (letzter Stand: 14.11.2022)

- BUILDINGSMART (2022b): 5.4.3.44 IfcSite.
https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/ (letzter Stand: 14.11.2022)
- BUILDINGSMART (2022c): IfcSite.
<https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/FINAL/HTML/> (letzter Stand: 14.11.2022).
- CADIDA SOFTWARE (2022): Teigha.
<https://www.cadida.de/technologien/cad/cad-addons/teigha> (letzter Stand: 06.10.2022).
- CLOUDCOMPARE (2016): Main Page.
https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/Main_Page (letzter Stand: 06.10.2022).
- COMPUTERWORKS (2022): Vectorworks Landschaft - Die Software für BIM in der Landschaft.
<https://www.computerworks.de/produkte/vectorworks/vectorworks-landschaft/bim-in-der-landschaft.html> (letzter Stand: 06.10.2022).
- DATAFLOR (2022): DATAflor BIMXPert.
<https://www.dataflor.de/landschaftsarchitektur/produkte/bimxpert/> (letzter Stand: 06.10.2022).
- DEBUS, P. & MELLENTHIN FILARDO, M. (2021): Drohnen im Bauwesen - Wissen zu Einsatz, Technik und BIM. bSD Verlag, Berlin, 72 Seiten.
- DEGES – Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (2022a): BIM-Anwendungsfälle (Version 2.9).
https://www.deges.de/wp-content/uploads/2023/02/BIM-Anwendungsfalle_V29.pdf?type=original (letzter Stand: 26.03.2023).
- DEGES – Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (2022b): BIM-Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) (Version 2.00).
https://www.deges.de/wp-content/uploads/2023/03/BIM_AIA_Muster_V201_mit_Hinweisen.pdf?type=original (letzter Stand: 26.03.2023).
- DVW E. V. UND RUNDER TISCH GIS E. V. [Hrsg.] (2022): Leitfaden Geodäsie und BIM. Version 3.1. Wichmann Verlag, Buhl/München, 296 Seiten.
- FASOLD, C. (2018): Schulungskonzept zur BIM-Qualifizierung von Landschaftsarchitekten – erarbeitet auf der Basis von Autodesk Revit.
Masterarbeit, Management im Landschaftsbau, Hochschule Osnabrück.
- FUNK, M. (2018): Editorial. Landschaftsarchitekten - BIM in der Landschaftsarchitektur. 2018 (2), S. 1.

GEOMAPPING (2021): UTM Verzerrung.

<https://www.geomapping.de/utm-verzerrung.html> (letzter Stand: 18.11.2022).

GEOPORTAL RHEINLAND-PFALZ (2019): EPSG-Codes/de.

<https://www.geoportal.rlp.de/mediawiki/index.php/EPSSG-Codes/de> (letzter Stand: 06.10.2022).

HAUSKNECHT, K. & LIEBICH, T. (2016): BIM-Kompodium – Building Information Modeling als neue Planungsmethode. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 227 Seiten.

HS DEVELOPMENT & SERVICES GMBH (2022): 3D-Vermessung mit Drohnen: Photogrammetrie versus LIDAR (3D-Laserscanning).

<https://www.hsd-services.de/post/3d-vermessung-mit-drohnen-photogrammetrie-versus-lidar-3d-laserscanning> (letzter Stand: 06.10.2022).

KÄLIN, J. (2021): Anwenderbezogene Auswertung und Darstellung von Daten aus modernen digitalen Vermessungstechniken anhand eines dreidimensionalen Modells – Als Digitale Abbildung des „Neuen Markts“ der Stadt Haan.

Masterarbeit, Landschaftsarchitektur, Fachhochschule Erfurt, unveröffentlicht.

KAUER, J.; LEHMKÜHLER, H. & STEINMANN, R. [Hrsg.] (2021): BIM & GIS – Grundlagen, Synergien

und Best-Practice-Beispiele. Wichmann-Verlag, Berlin, 193 Seiten.

KICKLER, J. (2021): Punktwolken in der Praxis – Einsatz von der Denkmalpflege bis zum Neubau. In: WEINOLD, Th. [Hrsg.] (2021): 21. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2021. Wichmann-Verlag, VDE Verlag GmbH, Berlin/Offenbach, Seite 71 - 81.

KIT – KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (2022): FZKViewer.

<https://www.iai.kit.edu/1648.php> (letzter Stand: 15.11.2022).

KRAGE, M. (2017): DJI Mavic Pro im Flug.

https://de.wikipedia.org/wiki/Multicopter#/media/Datei:DJI_Mavic_Pro.jpg (letzter Stand: 16.11.2022).

LANDESVERMESSUNG SACHSEN (2022): Grundlagen und Begriffe - Koordinatenreferenzsysteme.

<https://www.landesvermessung.sachsen.de/grundlagen-und-begriffe-5585.html> (letzter Stand: 06.10.2022).

LGLN - LANDESAMT FÜR GEOINFORMATION UND LANDESVERMESSUNG NIEDERSACHSEN (2022a): 3D-Geobasisdaten.

https://www.lgln.niedersachsen.de/startseite/geodaten_karten/3d_geobasisdaten/3d-geobasisdaten-143145.html (letzter Stand 2022).

LGLN - LANDESAMT FÜR GEOINFORMATION UND LANDESVERMESSUNG NIEDERSACHSEN (2022b): Geodaten & Karten.

https://www.lgln.niedersachsen.de/startseite/geodaten_karten/geodaten--karten-51666.html (letzter Stand: 06.10.2022).

LGLN - LANDESAMT FÜR GEOINFORMATION UND LANDESVERMESSUNG NIEDERSACHSEN (2022c): AFIS-ALKIS-ATKIS.

https://www.lgln.niedersachsen.de/startseite/online_angebote_amp_services/webdienste/afis_alkis_atkis/afis-alkis-atkis-projekt-51709.html (letzter Stand 06.10.2022).

LGLN - LANDESAMT FÜR GEOINFORMATION UND LANDESVERMESSUNG NIEDERSACHSEN (2022d): Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS).

https://www.lgln.niedersachsen.de/startseite/online_angebote_amp_services/webdienste/afis_alkis_atkis/atkis/amtliches-topographisch-kartographisches-informationssystem-atkis-92948.html (letzter Stand: 06.10.2022).

LGLN - LANDESAMT FÜR GEOINFORMATION UND LANDESVERMESSUNG NIEDERSACHSEN (2022e): OpenGeoData.NI.

<https://opengeodata.lgln.niedersachsen.de/#product-overview> (letzter Stand: 04.12.2022).

LUNDENBERG, K. (2022): Amtliche digitale Geoinformationen – Erfahrungen und Erwartungen. Online-Vortrag im Rahmen des Regionalgruppentreffens der buildingSMART Deutschland – Regionalgruppe Rhein-Main-Neckar: 24.03.2022.

MACLEAMY, P. (2004): Collaboration, Integrated Information, and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation.

<https://kcuc.org/wp-content/uploads/2013/11/Collaboration-Integrated-Information-and-the-Project-Lifecycle.pdf> (letzter Stand: 26.03.2023).

MARLING, N. (2018): BIM-gestützte Modellierung in der Landschaftsarchitektur – am Beispiel eines städtischen Platzes mit Autodesk Revit.

Bachelorarbeit, Ingenieurwesen im Landschaftsbau, Hochschule Osnabrück.

MENSCH UND MASCHINE ACADGRAPH GMBH (2022a): BIM Ready: Scan2BIM.

<https://www.mum.de/seminare/seminarueberblick/bim-ready-lernkonzept/scan2bim> (letzter Stand: 15.11.2022).

MENSCH UND MASCHINE ACADGRAPH GMBH (2022b): Autodesk Construction Cloud.

<https://mum-acadgraph.de/autodesk-construction-cloud> (letzter Stand: 06.10.2022).

MÜLLER, A. (2020): BIM-gestützte Massenermittlung am Beispiel eines Brückenmodells.

Bachelorarbeit, Baubetriebswirtschaft Dual, Hochschule Osnabrück, unveröffentlicht.

NOACK, G. (2019): Geodäsie für Bauingenieure und Architekten. Carl Hanser Verlag, München, 265 Seiten.

PETSCHKE, P. (2014): Geländemodellierung. 2. Aufl., Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, 285 Seiten.

POINTCAB (2021): Geordnete vs. ungeordnete Punktwolken und wie man mit ihnen umgeht. Veröffentlicht am 19.08.2021, <https://www.youtube.com/watch?v=YyOLdL3Na7Q&t=490s>. (letzter Stand: 14.11.2022).

POINTCAB (2022): Was ist eine Punktwolke? <https://pointcab-software.com/de/2021/09/01/was-ist-eine-punktwolke/> (letzter Stand: 06.10.2022).

POMASKA, G. (2022): Structure from Motion. <https://scanner.imagefact.de/de/sfm.html> (letzter Stand: 06.10.2022).

REMY, M. (2021): Entwicklung einer Modellierungsrichtlinie für Objekte des Freiraums für den BIM-basierten Bauantrag am Beispiel der Außenanlagenplanung des Bauvorhabens ‚Elbtower‘ in Hamburg. Masterarbeit, Landschaftsarchitektur, Hochschule Osnabrück.

ROTTENSTEINER, F. (2017): Kontextbasierte Ansätze in der Bildanalyse. In: HEIPKE, C. [Hrsg.] (2017): Photogrammetrie und Fernerkundung – Handbuch der Geodäsie, herausgegeben von Willi Freeden und Reiner Rummel. Springer Spektrum, Berlin/Heidelberg, Seite 555 - 602.

SCHIRMER, H. (2021): utm. ups. wgs 84. <https://www.bergundsteigen.com/wp-content/uploads/2021/08/38-44-utm-ups-wgs84.pdf> (letzter Stand: 06.10.2022).

SCHMIDT, L. (2016): Revit and Landscape Architecture: The Issues by Lauren Schmidt. <https://worldlandscapearchitect.com/revit-landscape-architecture-issues/#.Yz7mqXZBybg> (letzter Stand: 06.10.2022).

SCHMIDT, L. (2022): landarchBIM. <https://landarchbim.com/objective/about-me/> (letzter Stand: 15.11.2022).

SCHROTH, O. (2021): Georeferenzierung von BIM-Projekten. Online-Vortrag im Rahmen der FLL-Fachtagung BIM in der Landschaftsarchitektur 2021: 14./15.09.2021.

SKY ELEMENTS (2020): Photogrammetrie Schulungen für Drohnendienstleister. <https://www.sky-elements.com/news/photogrammetrie-schulungen-fuer-drohnendienstleister> (letzter Stand: 16.11.2022).

SPEKTRUM (2022): Geodätisches Bezugssystem. <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/geodaetisches-bezugssystem/5599> (letzter Stand: 06.10.2022).

STOCKING, A. W. (2019): Warum BIM in der Landschaftsarchitektur Wurzeln schlagen sollte.

<https://redshift.autodesk.de/bim-landschaftsarchitektur/> (letzter Stand: 06.10.2022).

TRIMBLE (2022): LOD – FAKTEN, DIE SIE WISSEN SOLLTEN.

<https://mep.trimble.ch/blog/LOD-Fakten-die-sie-wissen-sollten#:~:text=Was%20bedeutet%20LOD%3F,jeweils%20die%20Pr%C3%A4zision%20eines%20Modells> (letzter Stand: 06.10.2022).

VDI – VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E. V. (2020): Richtlinienreihe VDI 2552 „Building Information Modeling (BIM)“, Blatt 4: Building Information Modeling – Anforderungen an den Datenaustausch.

Beuth Verlag, Berlin, 59 Seiten.

VDI – VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E. V. (2021): Richtlinienreihe VDI 2552 „Building Information Modeling (BIM)“, Blatt 2: Building Information Modeling – Begriffe.

Beuth Verlag, Berlin, 7 Seiten.

WEBER, J. (2022): Umsetzung eines BIM-Workflows mit Vectorworks auf Basis einer Modellierungsrichtlinie für den BIM-basierten Bauantrag.

Bachelorarbeit, Freiraumplanung, Hochschule Osnabrück.

WEISSMANN, A. (2015): Einsatzmöglichkeiten von „Unmanned Aerial Vehicles“ (UAVs) zur Erzeugung von Aufmaßdaten im Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau – ein praxisorientierter Methodenvergleich von UAV-gestützten und terrestrischen Aufnahmeverfahren.

Bachelorarbeit, Ingenieurwesen im Landschaftsbau, Hochschule Osnabrück.

WINIWARTER, L.; MANDLBURGER, G. & PFEIFER, N. (2017): Klassifizierung von 3D ALS Punktwolken mit neuronalen Netzen.

https://www.uibk.ac.at/geometrie-vermessung/gruppe_vermessung_und_geoinformation/geodaetische_wochen/obergurgl_2019/beitraege/vo_winiwarer.pdf (letzter Stand: 06.10.2022).

WINTER, M. (2022): Umsetzung eines BIM-Workflows mit Archicad auf Basis einer Modellierungsrichtlinie für den BIM-basierten Bauantrag.

Bachelorarbeit, Freiraumplanung, Hochschule Osnabrück.

ANHANG 1: DETAILLIERTE WORKFLOWS

INHALTSVERZEICHNIS

Tabellenverzeichnis.....	169
1 Workflow: Geodaten aus dem OpenGeoData.NI.....	171
1.1 Download von Geodaten aus dem OpenGeoData.NI.....	171
1.2 Aufbereitung der Daten in Autodesk Civil 3D	173
1.2.1 Aufbereitung des 3D-Gebäudemodells in Autodesk Civil 3D.....	173
1.2.2 Aufbereitung der Flurgrenzen in Autodesk Civil 3D.....	177
2 Workflow: Vorbereitung der Punktwolken in CloudCompare.....	181
2.1 Punktwolken importieren	181
2.2 Punktwolken zusammenführen	183
2.3 Punktwolkenausschnitt erstellen	185
2.4 Punktwolke manuell bereinigen	189
3 Workflow: Geländemodell in Autodesk Civil 3D erstellen	193
4 Workflows: Geländemodelle in Autodesk Revit erstellen.....	197
4.1 Vorbereitungen in Autodesk Civil 3D	197
4.1.1 Erstellung eines Projekt-Basispunkts.....	197
4.1.2 Projekt-Basispunkt als ‚Shared Reference Point‘ exportieren	200
4.2 Workflow: Geländemodell – ‚Topographie verknüpfen‘	202
4.2.1 Geländemodell aus Autodesk Civil 3D publizieren.....	202
4.2.2 ‚Shared Reference Point‘ als Projekt-Basispunkt importieren	203
4.2.3 Topographie verknüpfen.....	206
4.3 Workflow: Geländemodell – ‚Importexemplar‘	208
4.3.1 Höhenlinien aus Autodesk Civil 3D exportieren	208
4.3.2 Importexemplar wählen und ‚Shared Reference Point‘ importieren.....	210
4.4 Workflow: Geländemodell – ‚Punktdatei angeben‘	213
4.4.1 Verschieben der Punktdatei in CloudCompare	217
4.4.2 Punktdatei angeben.....	220
4.5 Workflow: Geländemodell aus Autodesk Revit als DWG exportieren.....	223
5 Workflow: Geländemodell in Graphisoft ArchiCAD erstellen.....	226
6 Workflows: Geländemodell in Vectorworks erstellen	230
6.1 Workflow: Geländemodell – ‚Import Aufmaß / Koordinaten‘	230
6.2 Workflow: Geländemodell – ‚Import Punktwolke‘	233

6.3	Workflow: Export eines Geländemodells als DWG-Datei	237
7	Workflows: Geländemodell in DATAflor BIMXPRT erstellen.....	238
7.1	Workflow: Geländemodell – Quick-DGM.....	238
7.2	Workflow: Geländemodell – BricsCAD.....	241
8	Workflows: Revit ‚Environment‘	246
8.1	Workflow: Shape by Topography	246
8.2	Workflow: Arrange Walls	248
8.3	Workflow: Stretch Wall.....	250
8.4	Workflow: Approximate Wall Path	252
8.5	Workflow: Wall railing	254
8.6	Workflow: Paste curb.....	256
8.7	Workflow: Place Point.....	258
8.8	Workflow: Smooth Geometry	260
8.9	Workflow: Inflate Surface.....	263
8.10	Workflow: Shape by Point.....	266
8.11	Workflow: Set Coordinate	269
9	Workflow: Trianguliertes Mengenmodell in Autodesk Civil 3D erstellen....	271
9.1	Geländemodell aus DWG-Objekt in Autodesk Civil 3D erstellen	271
9.2	Trianguliertes Mengenmodell erstellen	274
10	Workflow: Höhenplan in Autodesk Civil 3D erstellen	277

TABELLENVERZEICHIS

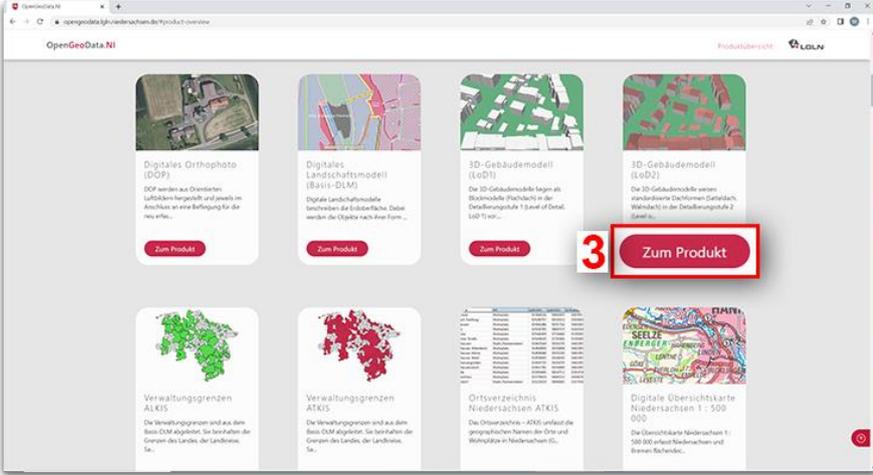
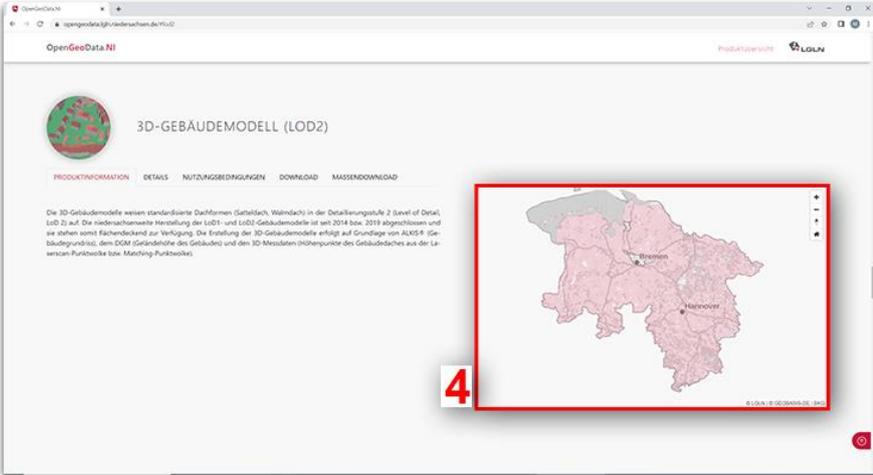
- Tabelle 1: Download von Geodaten aus dem OpenGeoData.NI. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 2: Aufbereitung des 3D-Gebäudemodells in Autodesk Civil 3D. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 3: Aufbereitung der Flurgrenzen in Autodesk Civil 3D. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 4: Punktwolken importieren. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 5: Punktwolken zusammenführen. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 1: Punktwolkenausschnitt erstellen. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 2: Punktwolke manuell bereinigen. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 3: Workflow: Geländemodell in Autodesk Civil 3D erstellen. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 4: Erstellung eines Projekt-Basispunkts. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 5: Projekt-Basispunkt als ‚Shared Reference Point‘ exportieren. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 6: Geländemodell aus Autodesk Civil 3D publizieren. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 7: ‚Shared Reference Point‘ als Projekt-Basispunkt importieren. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 8: Topographie verknüpfen. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 9: Höhenlinien aus Autodesk Civil 3D exportieren. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 10: Importexemplar wählen und ‚Shared Reference Point‘ importieren. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 11: Verschieben der Punktedatei in CloudCompare. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 12: Punktedatei angeben. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 13: Workflow: Geländemodell aus Autodesk Revit als DWG exportieren. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 14: Workflow: Geländemodell in Graphisoft ArchiCAD erstellen. EIGENE DARSTELLUNG.

- Tabelle 15: Workflow: Geländemodell – ‚Import Aufmaß / Koordinaten‘. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 16: Workflow: Geländemodell – ‚Import Punktwolke‘. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 17: Workflow: Export eines Geländemodells als DWG-Datei. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 23: Geländemodell – Quick-DGM. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 24: Geländemodell – BricsCAD. EIGENE DARSTELLUNG
- Tabelle 25: Workflow: Shape by Topography. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 26: Workflow: Arrange Walls. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 27: Workflow: Stretch Wall. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 28: Workflow: Approximate Wall Path. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 29: Workflow: Wall railing. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 30: Workflow: Paste curb. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 31: Workflow: Place Point. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 32: Workflow: Smooth Geometry. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 33: Workflow: Inflate Surface. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 34: Workflow: Shape by Point. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 35: Workflow: Set Coordinate. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 36: Geländemodell aus DWG-Objekt in Autodesk Civil 3D erstellen. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 37: Trianguliertes Mengenmodell erstellen. EIGENE DARSTELLUNG.
- Tabelle 38: Workflow: Höhenplan in Autodesk Civil 3D erstellen. EIGENE DARSTELLUNG.

1 WORKFLOW: GEODATEN AUS DEM OPENGEODATA.NI

1.1 Download von Geodaten aus dem OpenGeoData.NI

Tabelle 1: Download von Geodaten aus dem OpenGeoData.NI. EIGENE DARSTELLUNG.

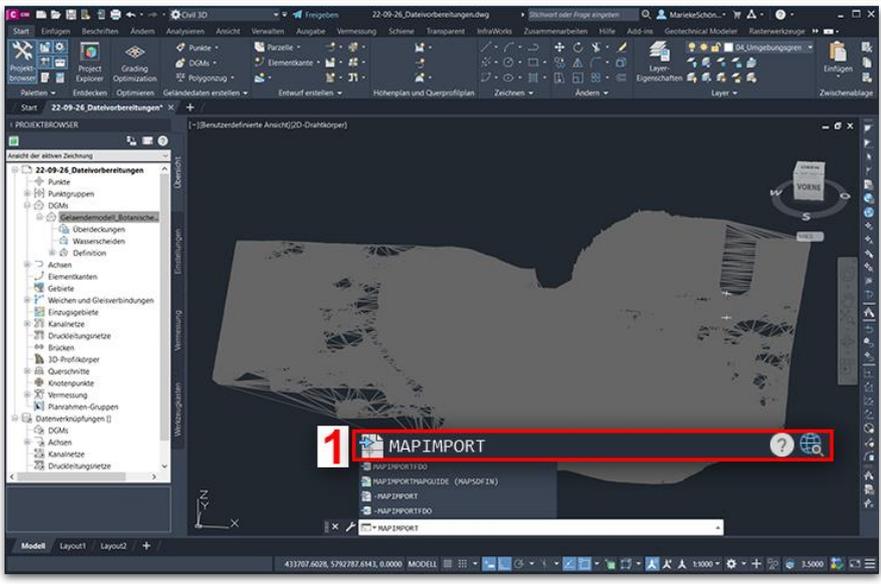
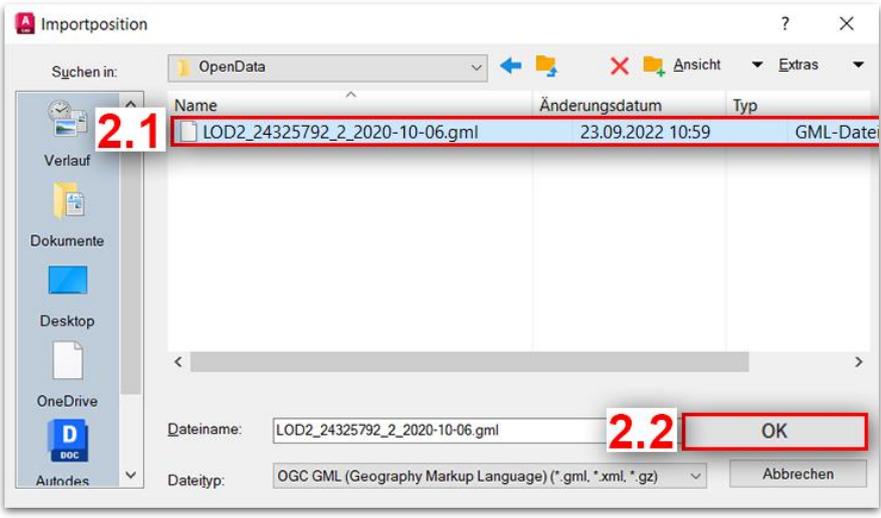
<p>1) Produktübersicht anwählen</p> <p>alternativ</p> <p>2) Wählen Sie hier Ihre Daten auswählen</p>	
<p>3) Unter 3D-Gebäudemodell (LoD 2) Zum Produkt anwählen</p>	
<p>4) Mit Scrollrad in den gewünschten Bereich der Karte zoomen</p>	

<p>5) Gewünschten Bereich durch Mausklick anwählen</p> <p>6) In den Bereich Download wechseln</p> <p>7) Gewünschtes Format auswählen</p> <p>8) Herunterladen anwählen</p>	
<p>9) Daten werden heruntergeladen</p>	
<p>10) Die Datei ist unter Downloads des Browsers abgespeichert</p>	

1.2 Aufbereitung der Daten in Autodesk Civil 3D

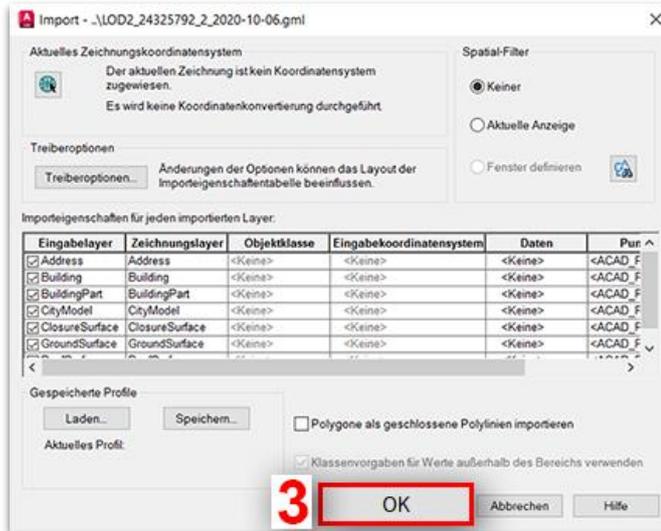
1.2.1 Aufbereitung des 3D-Gebäudemodells in Autodesk Civil 3D

Tabelle 2: Aufbereitung des 3D-Gebäudemodells in Autodesk Civil 3D. EIGENE DARSTELLUNG.
 Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen, ©Jahr²⁰²²

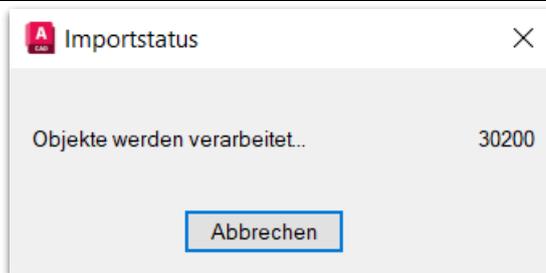
<p>1) Mapimport</p> <p>Befehl Mapimport eingeben und mit Enter bestätigen</p>	
<p>2) Importdatei auswählen</p> <p>Datei des 3D-Gebäudemodells <i>anwählen</i> und mit OK bestätigen</p>	

3) Objekte übernehmen

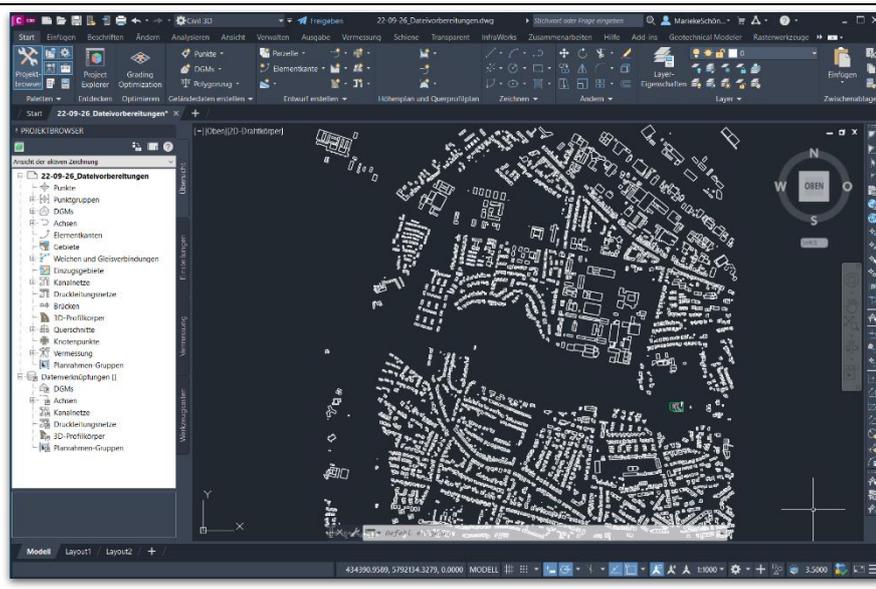
Zu importierende Objekte mit **OK bestätigen**



4) Importstatus abwarten

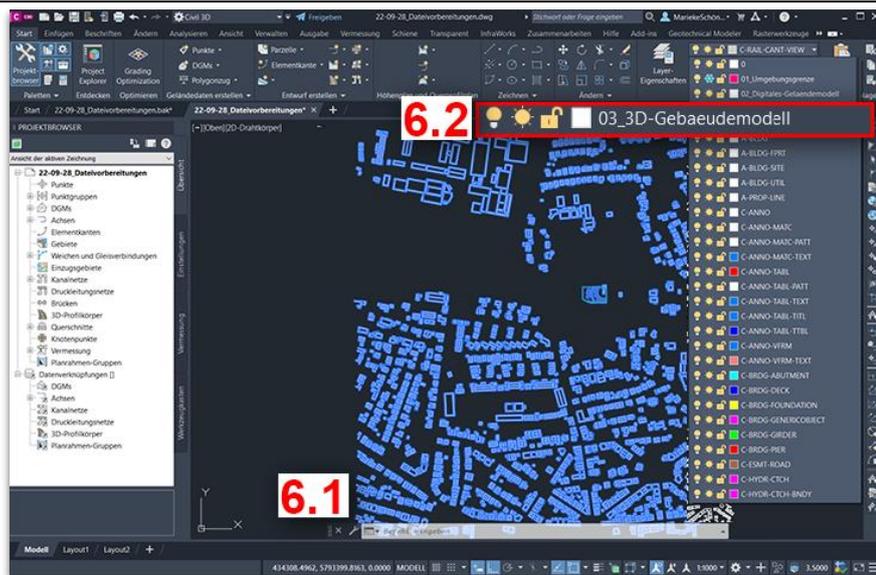


5) Importiertes 3D-Gebäudemodell



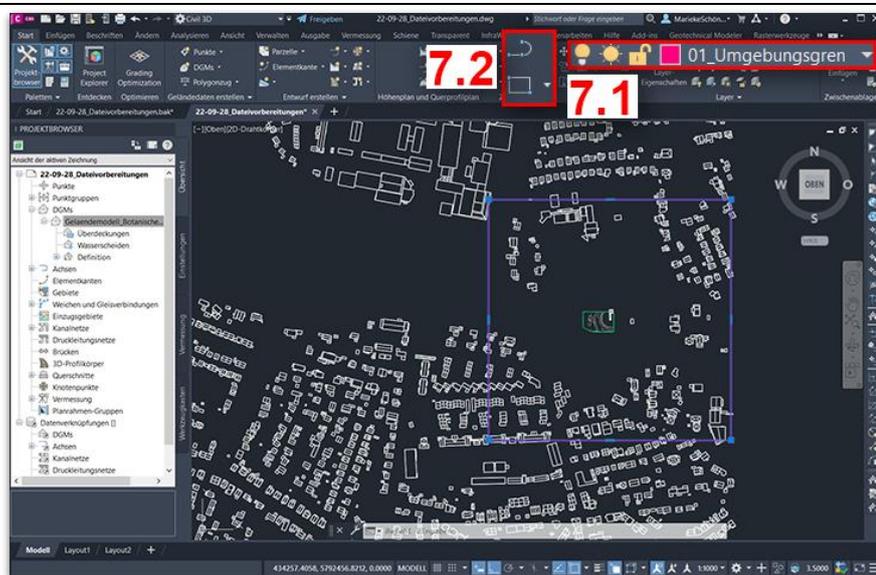
6) Layer auswählen

Alle **Objekte** des Gebäudemodells *auswählen* und auf den **Layer** ‚03_3D-Gebäudemodell‘ *verschieben*



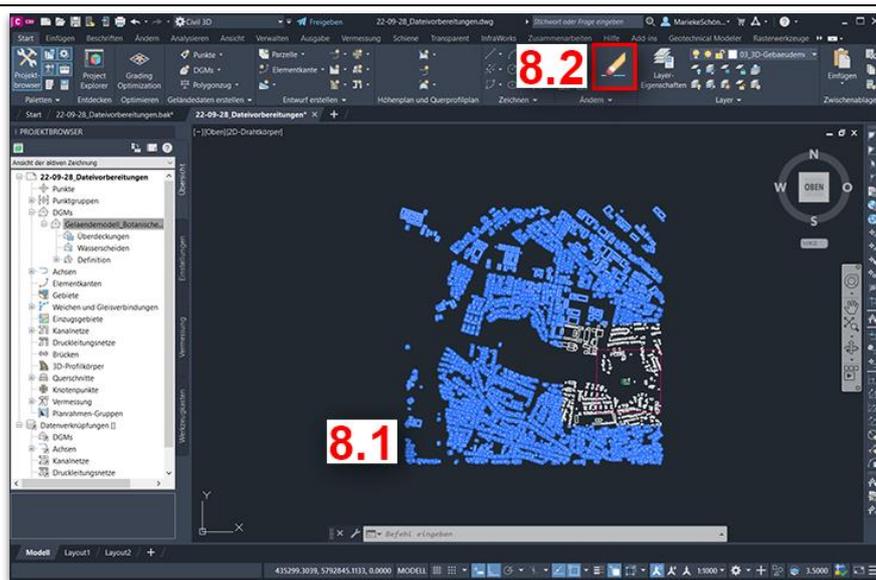
7) Bereich auswählen

auf dem Layer ‚01_Umgebungsgrenze‘ mit den Befehlen **Rechteck** oder **Polylinie** einen Bereich mit 500 m x 500 m um den Projektbispunkt **zeichnen**



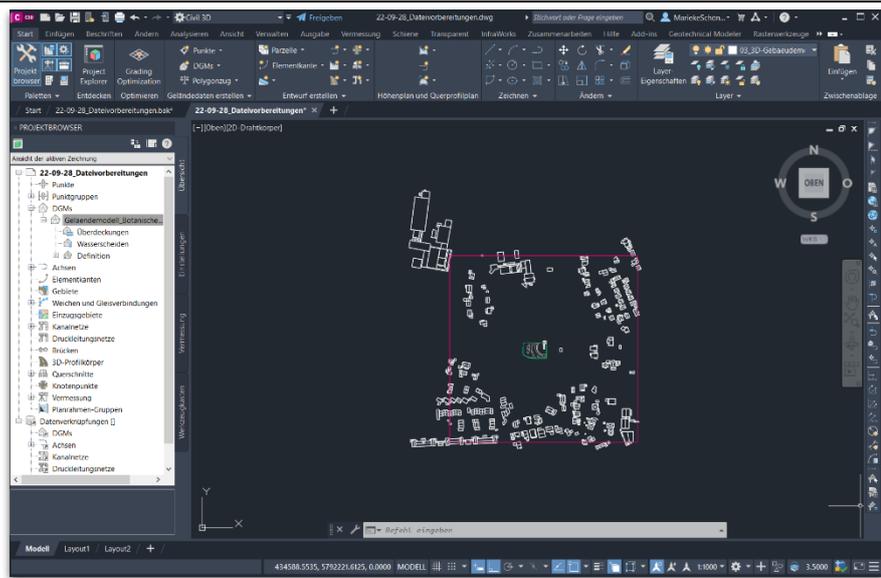
8) 3D-Gebäudeobjekte löschen

3D-Gebäudeobjekte, die komplett außerhalb des Bereichs liegen, **anwählen** und **löschen**



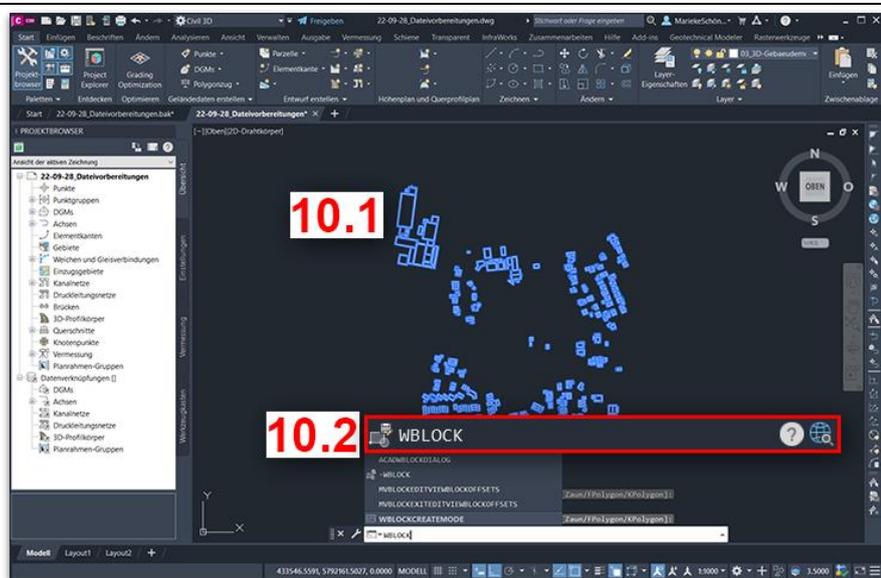
9) Zwischenergebnis

Zwischenergebnis 3D-Gebäudeobjekte



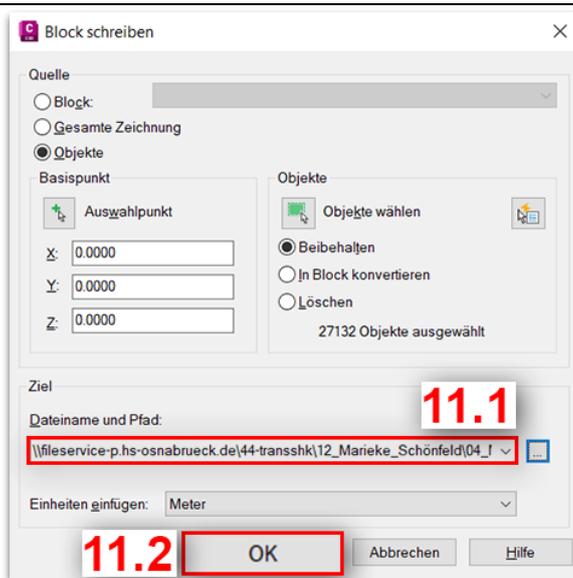
10) Block erstellen

alle 3D-Gebäudeobjekte *anwählen* und den Befehl **wblock** eingeben und mit **Enter** bestätigen



11) Block schreiben

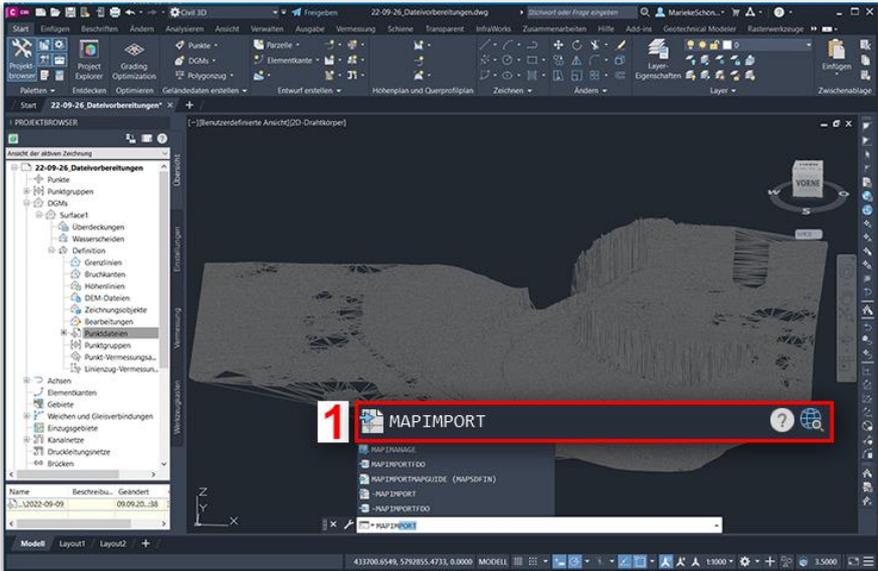
Dateinamen und Pfad *auswählen* und mit **OK** bestätigen

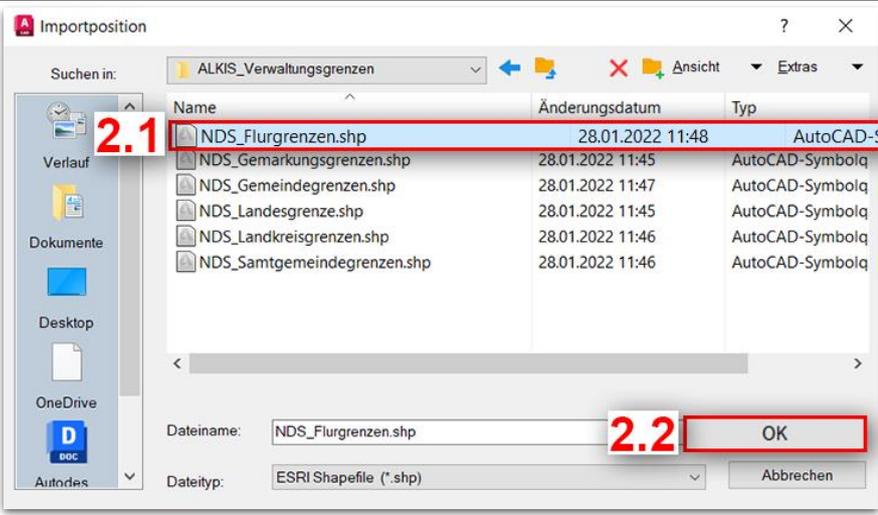
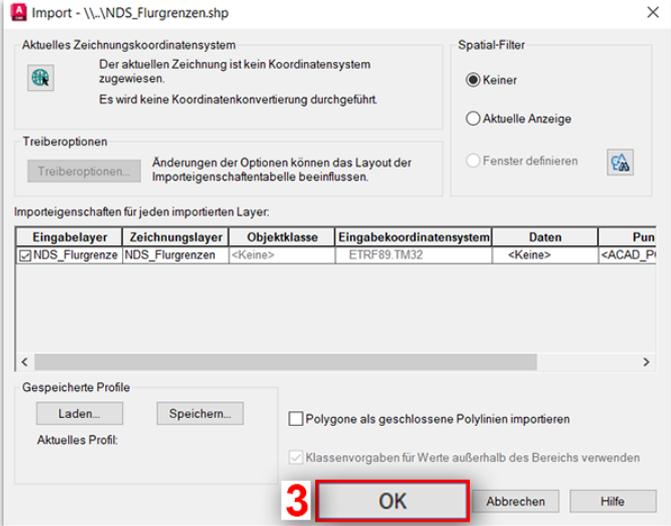
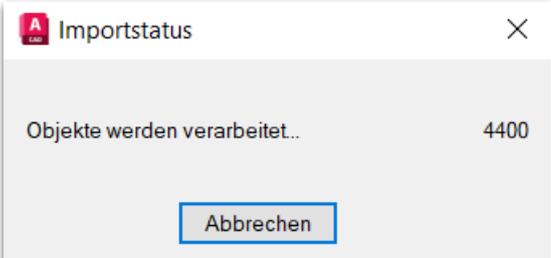


<p>12) AutoCAD Map-Daten</p> <p>mit OK bestätigen</p>					
<p>13) Gespeicherte Datei</p> <p>Ergebnis Block 3D-Gebäudemodell als DWG-Datei</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="502 465 869 497">22-09-28_3D-Gebaedemodell.dwg</td> <td data-bbox="877 465 1077 497">28.09.2022 15:51</td> <td data-bbox="1085 465 1268 497">DWG-Datei</td> <td data-bbox="1276 465 1380 497">877 KB</td> </tr> </table>	22-09-28_3D-Gebaedemodell.dwg	28.09.2022 15:51	DWG-Datei	877 KB
22-09-28_3D-Gebaedemodell.dwg	28.09.2022 15:51	DWG-Datei	877 KB		

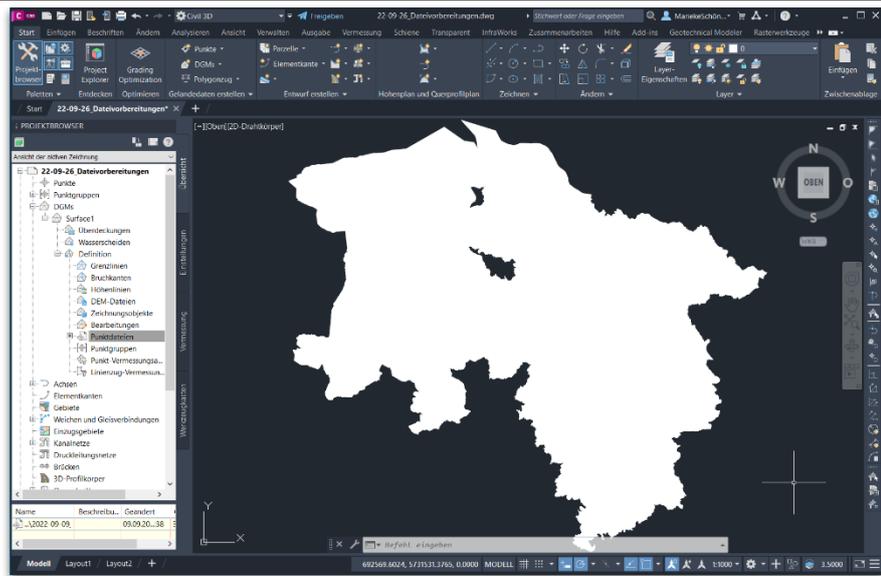
1.2.2 Aufbereitung der Flurgrenzen in Autodesk Civil 3D

Tabelle 3: Aufbereitung der Flurgrenzen in Autodesk Civil 3D. EIGENE DARSTELLUNG. Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen, ©Jahr²⁰²²

<p>1) Mapimport</p> <p>Befehl Mapimport eingeben und mit Enter bestätigen</p>	
--	---

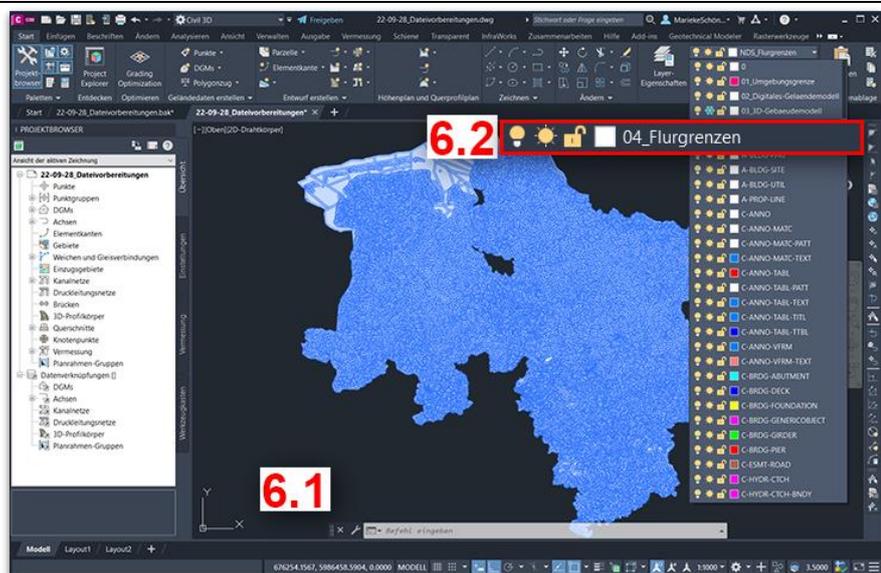
<p>2) Importdatei auswählen</p> <p>Datei der Flurgrenzen <i>anwählen</i> und mit OK bestätigen</p>													
<p>3) Objekte übernehmen</p> <p>Zu importierende Objekte mit OK bestätigen</p>	 <table border="1" data-bbox="518 952 1157 996"> <thead> <tr> <th>Eingabelayer</th> <th>Zeichnungslayer</th> <th>Objektklasse</th> <th>Eingabekordinatensystem</th> <th>Daten</th> <th>Pun</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> NDS_Flurgrenze</td> <td>NDS_Flurgrenzen</td> <td><Keine></td> <td>ETRF89_TM32</td> <td><Keine></td> <td><ACAD_Pi</td> </tr> </tbody> </table>	Eingabelayer	Zeichnungslayer	Objektklasse	Eingabekordinatensystem	Daten	Pun	<input checked="" type="checkbox"/> NDS_Flurgrenze	NDS_Flurgrenzen	<Keine>	ETRF89_TM32	<Keine>	<ACAD_Pi
Eingabelayer	Zeichnungslayer	Objektklasse	Eingabekordinatensystem	Daten	Pun								
<input checked="" type="checkbox"/> NDS_Flurgrenze	NDS_Flurgrenzen	<Keine>	ETRF89_TM32	<Keine>	<ACAD_Pi								
<p>4) Importstatus abwarten</p>													

5) Importierte Flurgrenzen Niedersachen



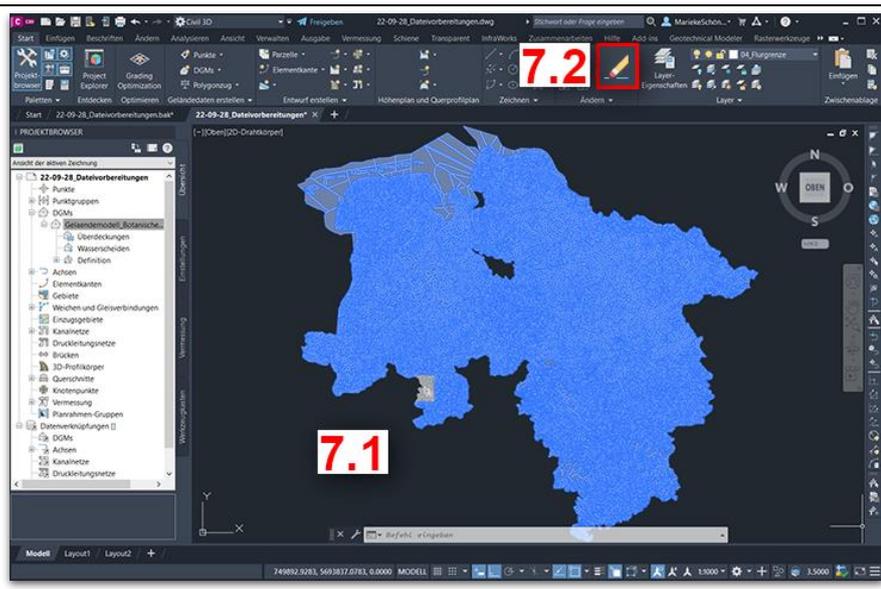
6) Layer auswählen

Alle Objekte der Flurgrenzen auswählen und auf den Layer ,04_Flurgrenzen' verschieben



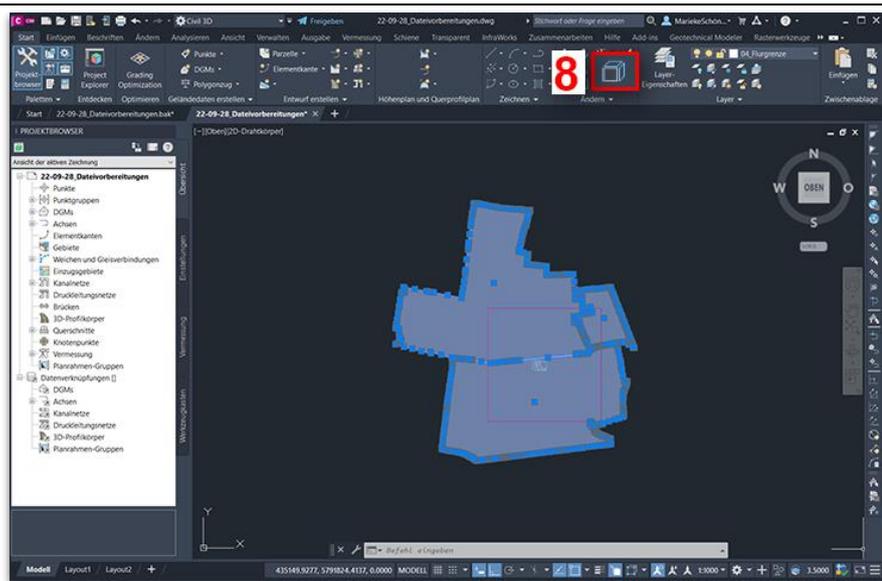
7) Flurgrenzen löschen

Flurgrenzen, die komplett außerhalb des Bereichs liegen, anwählen und löschen



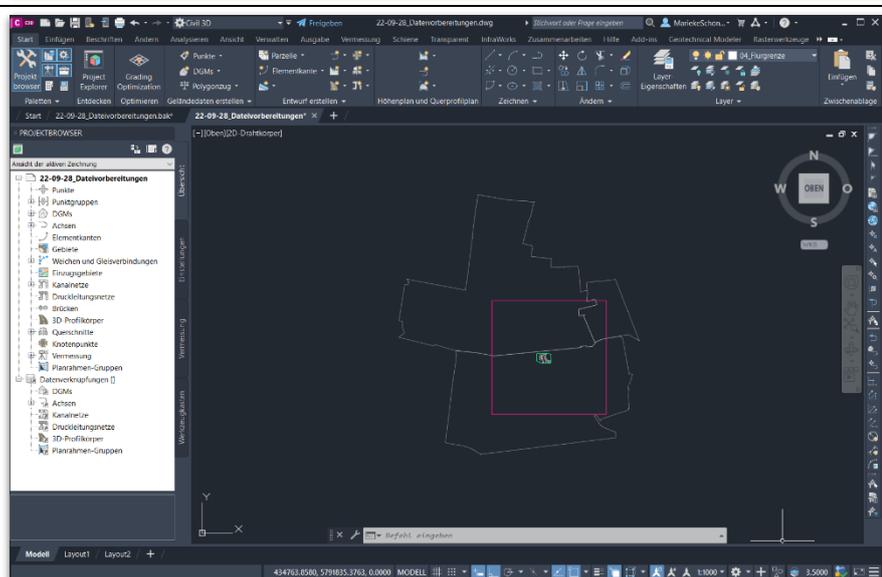
8) Flurgrenzen sprengen

Flurgrenzen-Objekte mit dem Befehl **Sprengen** in Polylinien auflösen



9) Zwischenergebnis

Zwischenergebnis Flurgrenzen

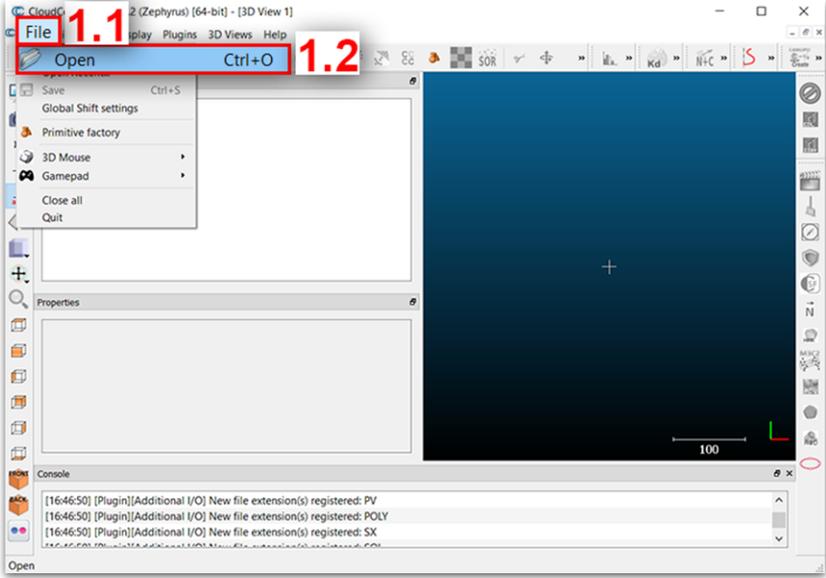


Schritte 10 – 13 aus Tabelle 2 ausführen

2 WORKFLOW: VORBEREITUNG DER PUNKTWOLKEN IN CLOUDCOMPARE

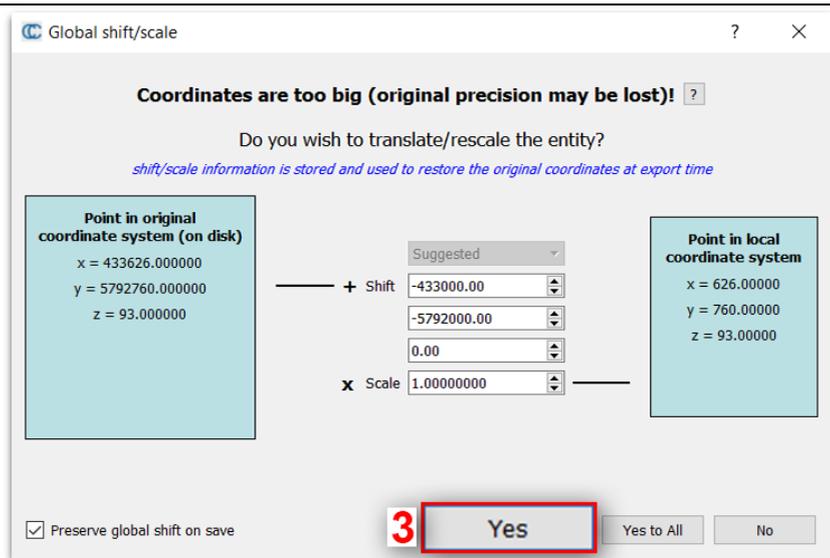
2.1 Punktwolken importieren

Tabelle 4: Punktwolken importieren. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Punktwolken öffnen</p> <p>File → Open <i>anwählen</i></p> <p>2019-03-20_Punkt- wolke-Nord.laz 2019-03-27_Punkt- wolke-Nord-neu.laz 2019-04-01_Punkt- wolke-Steinbruch.laz</p>	
<p>2) Open LAS File</p> <p>Einstellungen übernehmen und mit Apply bestätigen</p>	

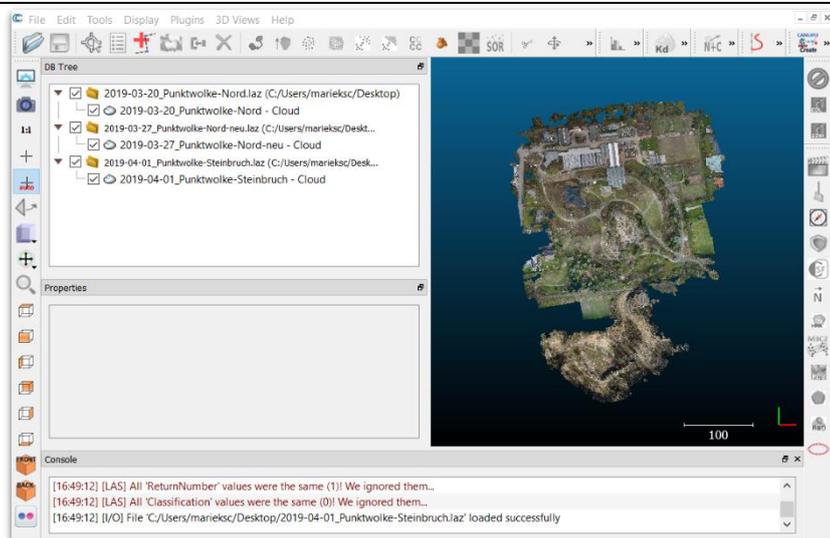
3) Global shift/scale

Einstellungen übernehmen mit **Yes** bestätigen



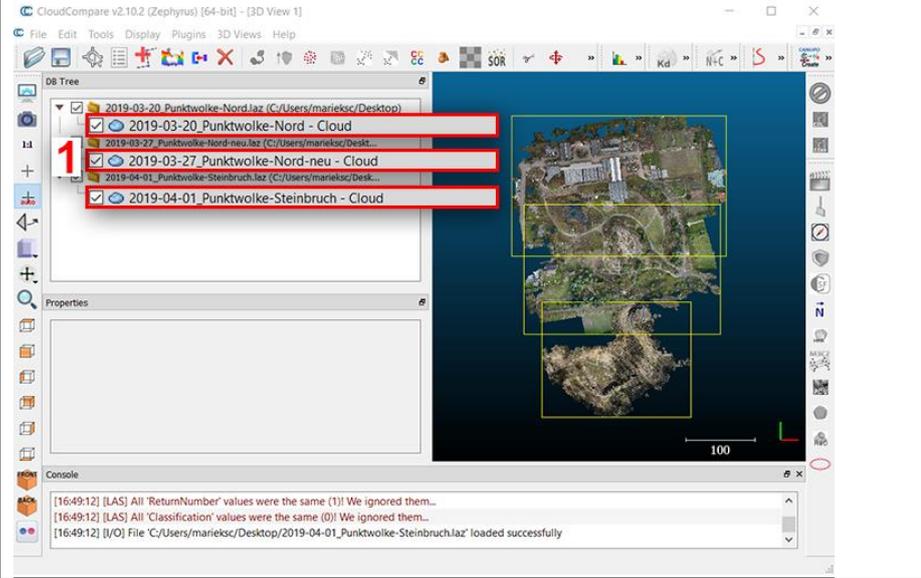
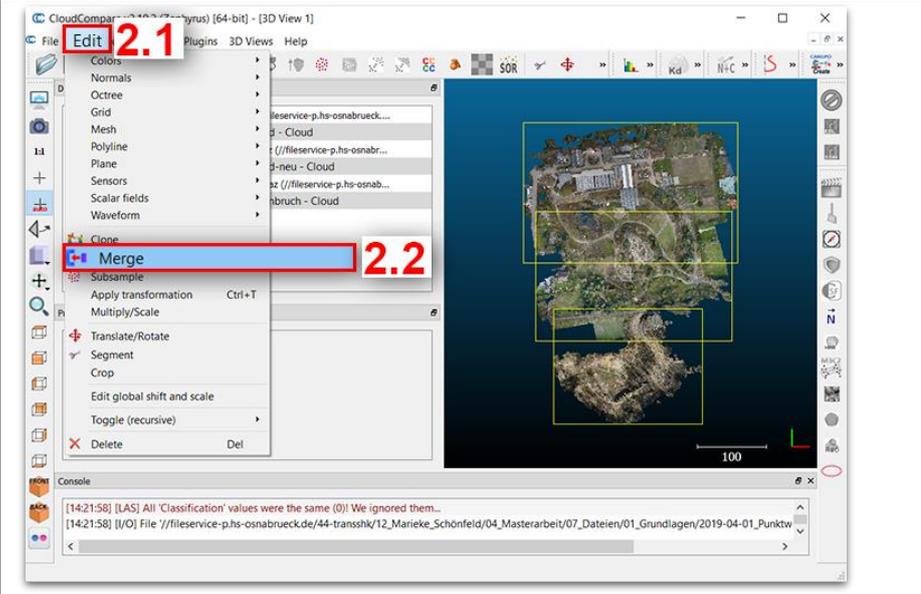
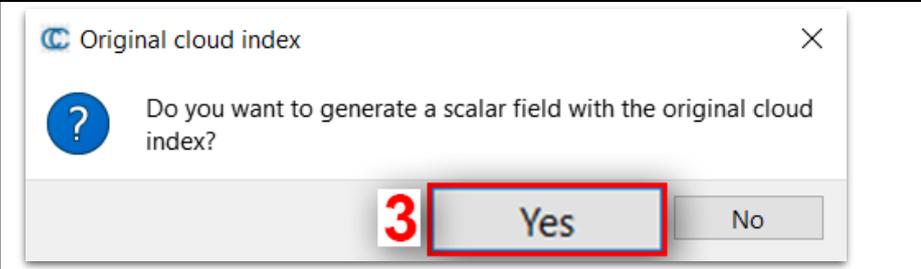
4) Ergebnis

Importierte Punktwolken

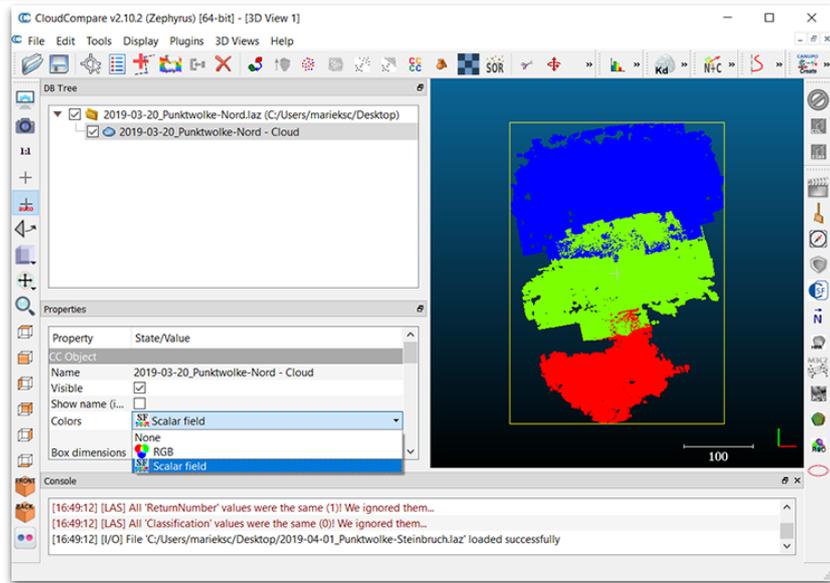


2.2 Punktwolken zusammenführen

Tabelle 5: Punktwolken zusammenführen. EIGENE DARSTELLUNG.

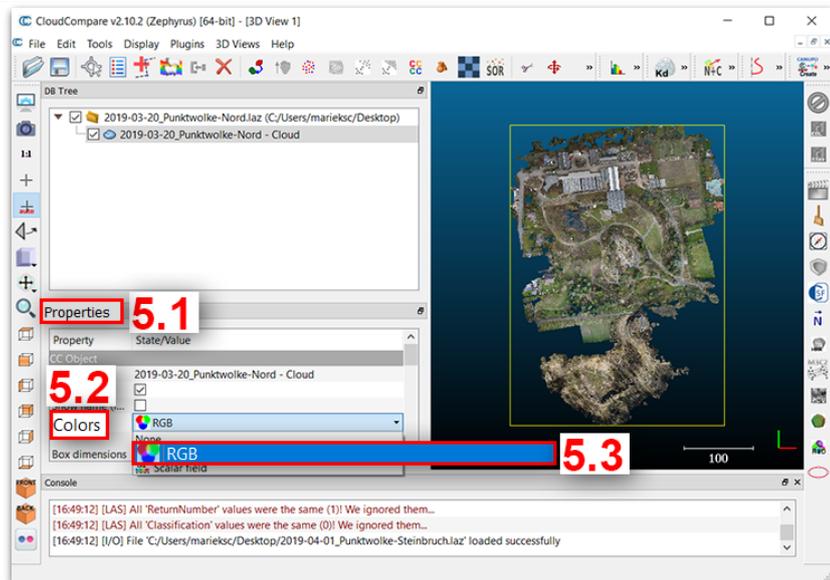
<p>1) Punktwolken auswählen</p> <p>mit gedrückter Strg und linker Maustaste alle Dateien <i>anwählen</i></p>	
<p>2) Punktwolken zusammenführen</p> <p>Edit → Merge <i>anwählen</i></p>	
<p>3) Original cloud index</p> <p>mit Yes <i>bestätigen</i></p>	

4) Erzeugtes Scalarfeld



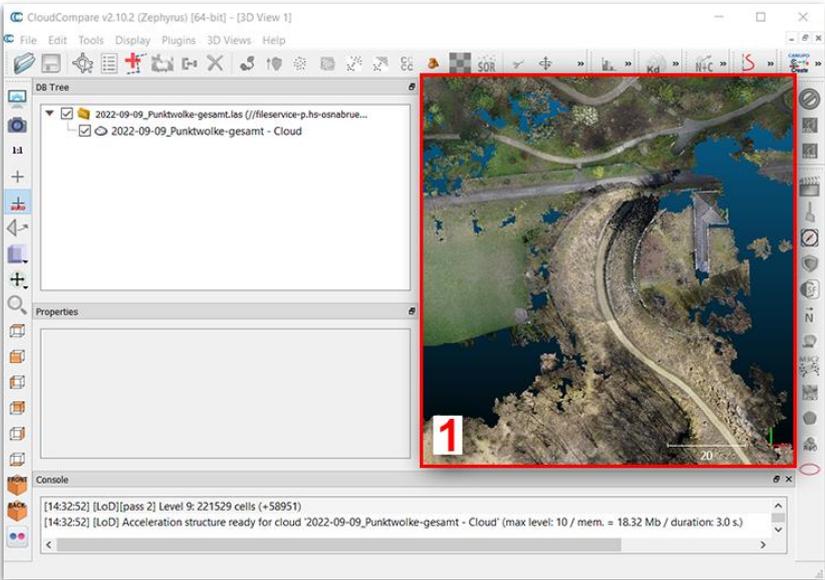
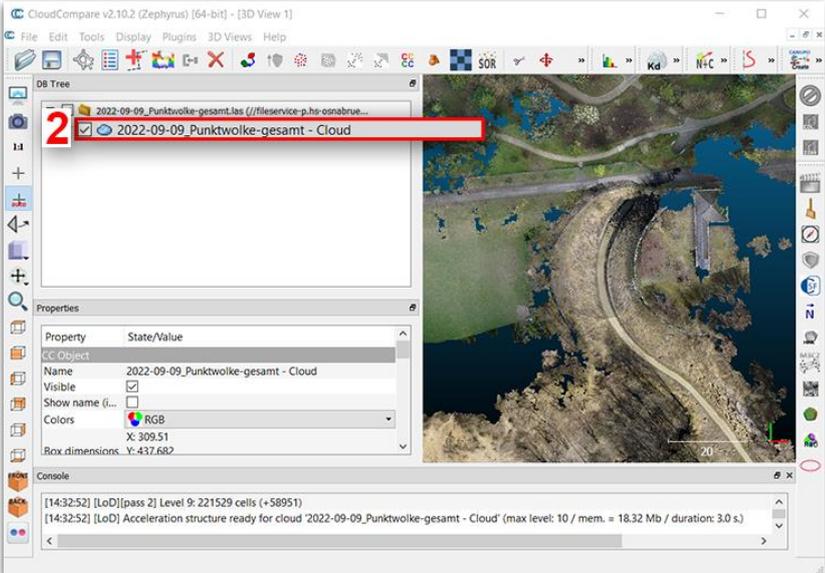
5) Ansicht auf RGB wechseln

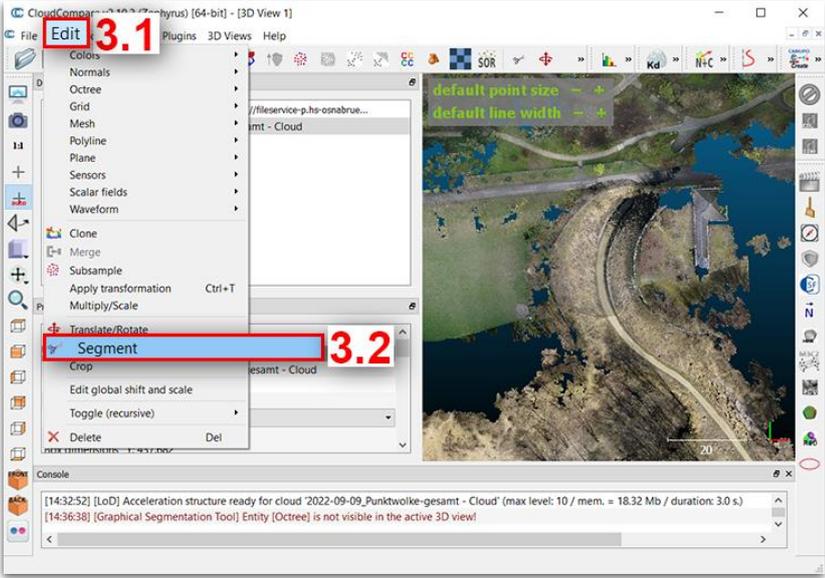
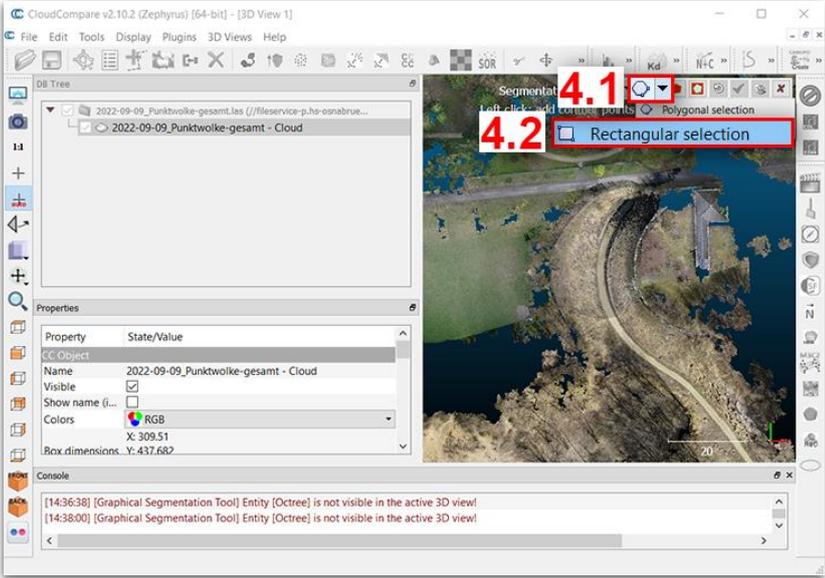
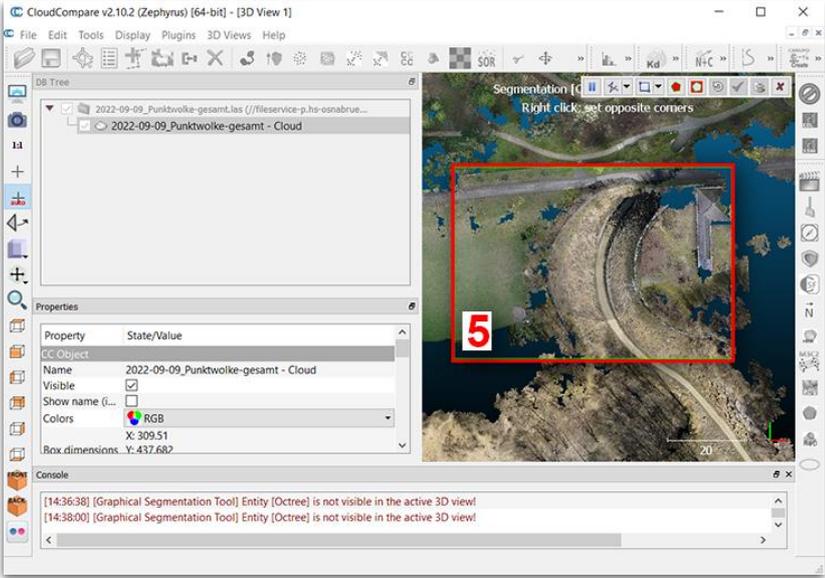
Properties → Colors
→ RGB anwählen



2.3 Punktwolkenausschnitt erstellen

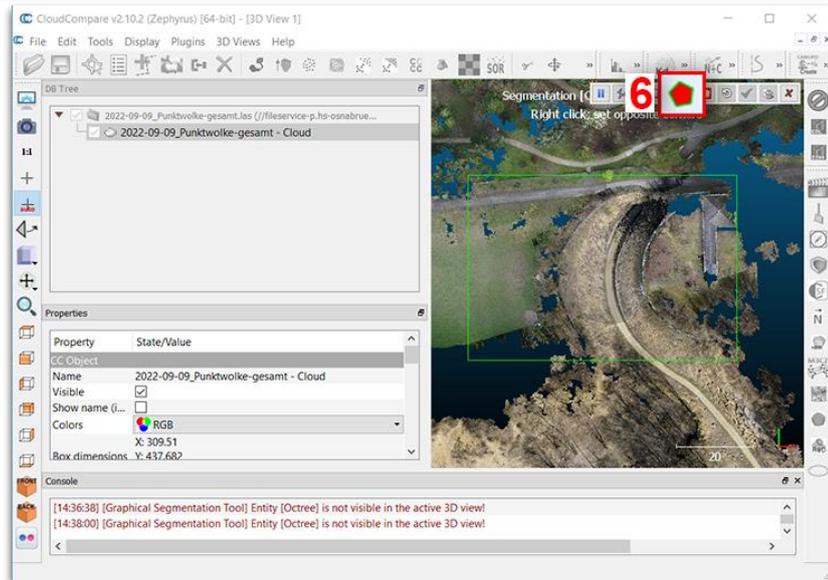
Tabelle 6: Punktwolkenausschnitt erstellen. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Zoomen</p> <p>mit Mausrad In den gewünschten Bereich zoomen</p>	
<p>2) Punktwolke anwählen</p> <p>mit linker Maustaste ‚Punktwolke_gesamt‘ anwählen</p>	

<p>3) Schneidewerkzeug auswählen</p> <p>Edit → Segment anwählen</p>	 <p>The screenshot shows the CloudCompare v2.10.2 interface. The 'Edit' menu is open, and 'Segment' is highlighted with a red box and the number 3.2. The number 3.1 is placed over the 'Edit' menu item. The background shows a 3D point cloud of a dam structure.</p>
<p>4) Rechteckauswahl</p> <p>Rectangular selection auswählen</p>	 <p>The screenshot shows the 'Segmentation' tool options in CloudCompare. The 'Rectangular selection' option is highlighted with a red box and the number 4.2. The number 4.1 is placed over the 'Segmentation' tool icon. The background shows the same 3D point cloud with a red rectangular selection box.</p>
<p>5) Rechteck aufziehen</p> <p>mit linker Maustaste den oberen linken und den unteren rechten Punkt des Rechtecks anwählen</p>	 <p>The screenshot shows the 'Rectangular selection' tool being used on the 3D point cloud. A red rectangular box is drawn around a portion of the dam structure. The number 5 is placed over the box. The background shows the same 3D point cloud.</p>

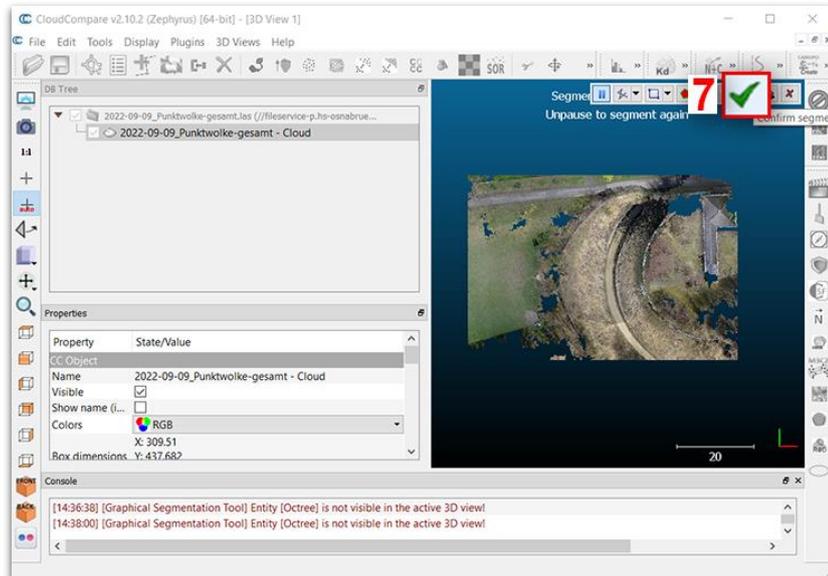
6) Auswahl innerhalb

Segment In anwählen



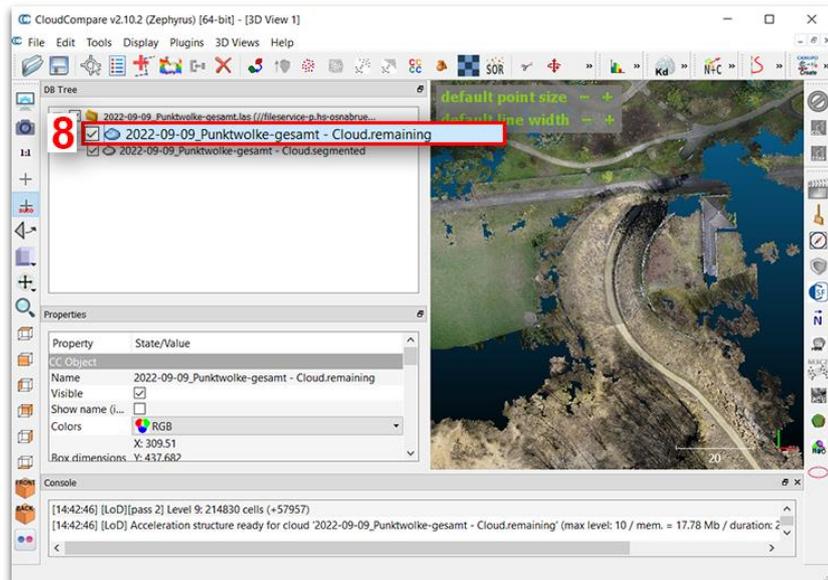
7) Auswahl bestätigen

Confirm segmentation anwählen



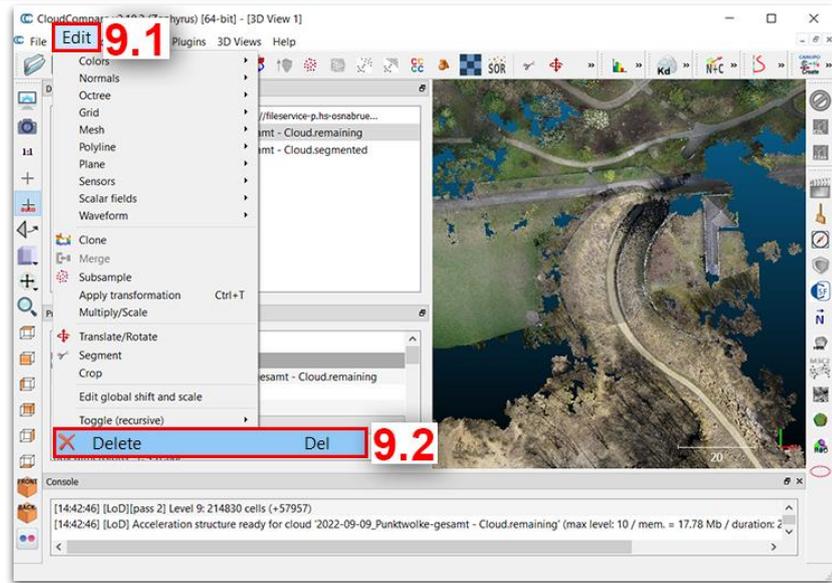
8) Gesamtpunktvolke anwählen

mit linker Maustaste
,Punktvolke_gesamt'
anwählen



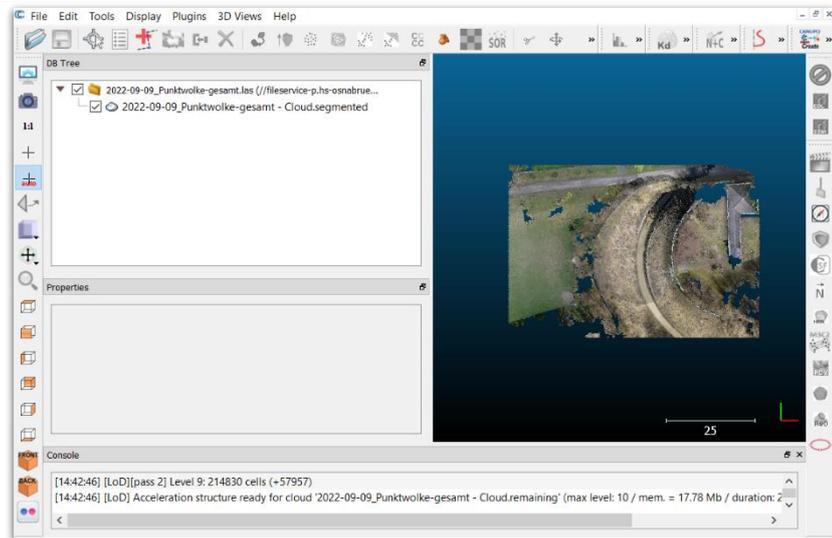
9) Gesamtpunktwolke löschen

Edit → Delete auswählen



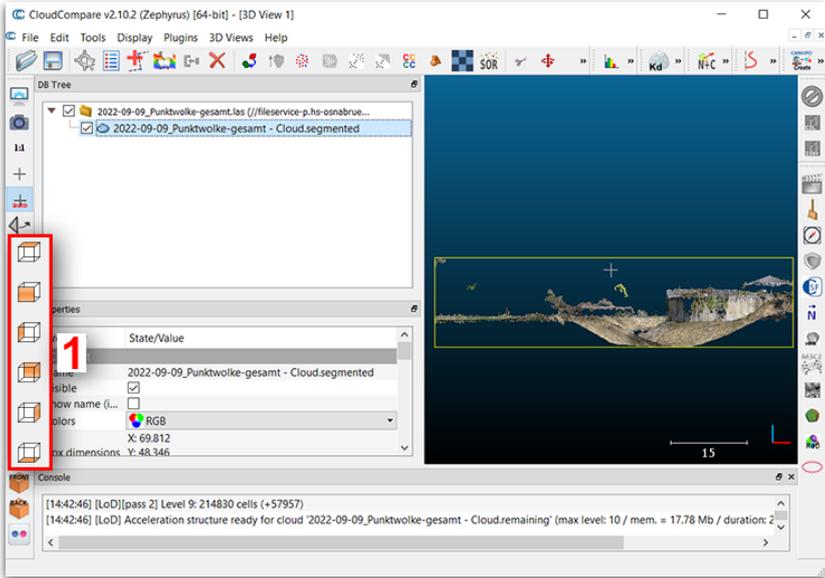
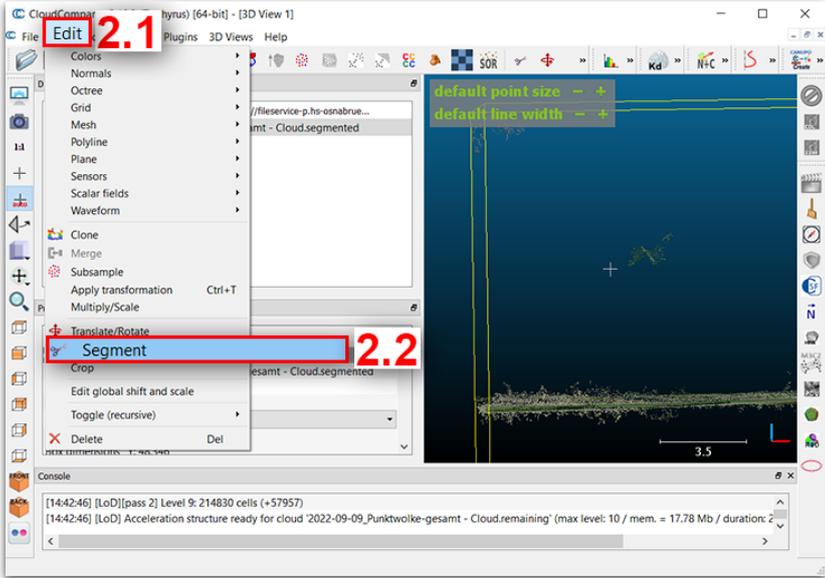
10) Ergebnis

Punktwolkenausschnitt



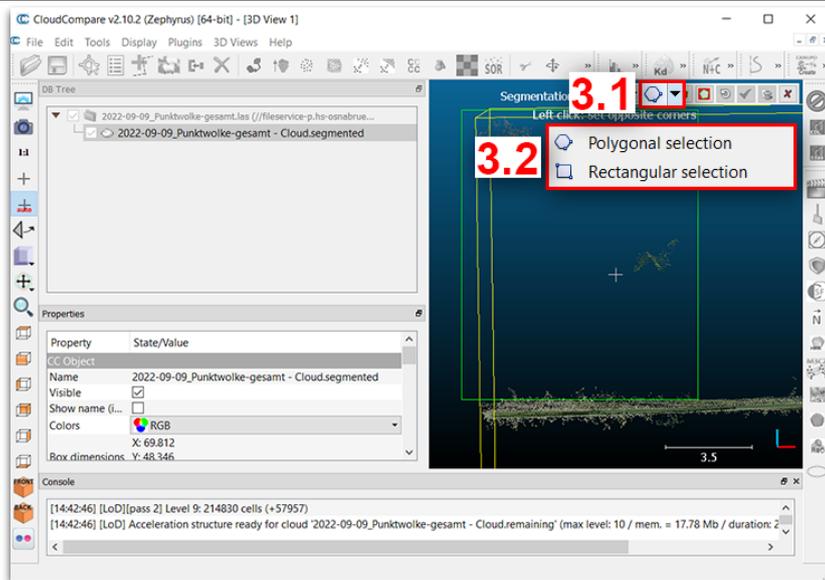
2.4 Punktwolke manuell bereinigen

Tabelle 7: Punktwolke manuell bereinigen. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Punktwolke drehen</p> <p>geeignete Seitenansicht <i>anwählen</i> und mit Mausrad <i>zoomen</i></p>	
<p>2) Schneidewerkzeug auswählen</p> <p>Edit → Segment <i>anwählen</i></p>	

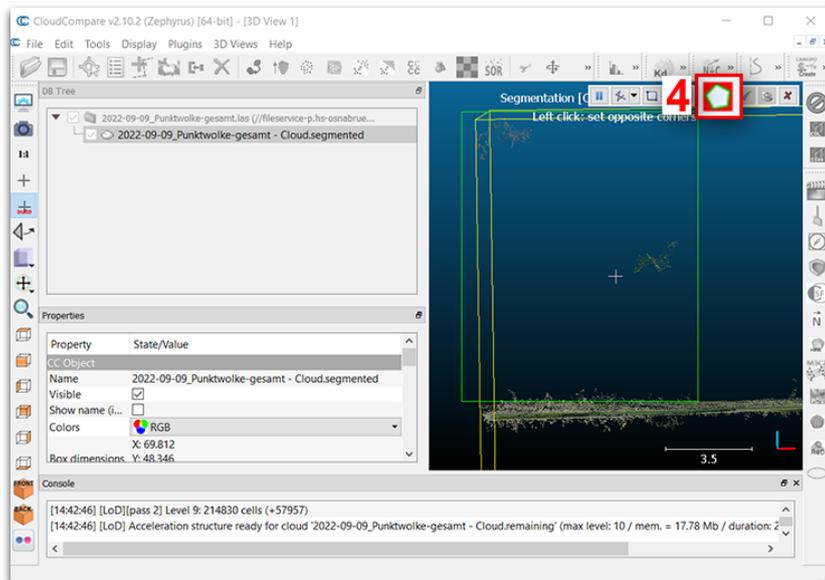
3) Bewuchs auswählen

Polygonal selection oder Rectangular selection *auswählen* und mit linker Maustaste *aufziehen*



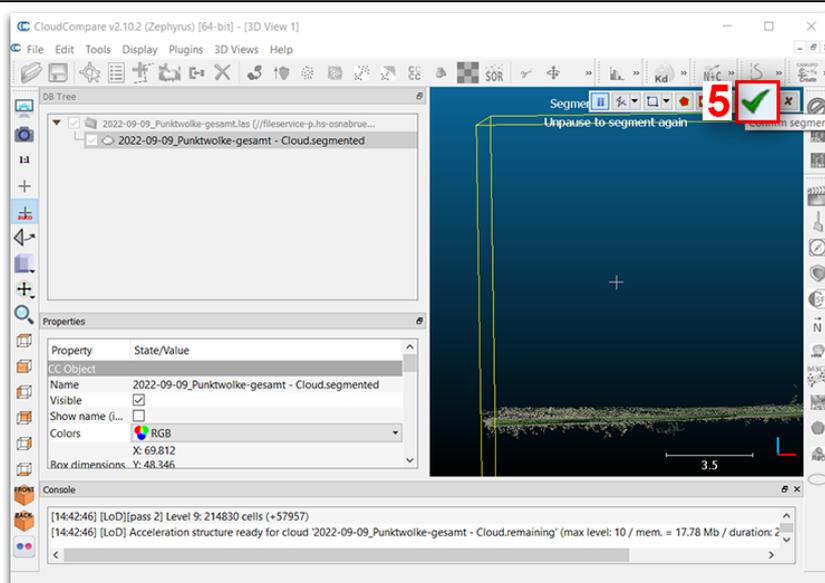
4) Auswahl außerhalb

Segment Out *anwählen*



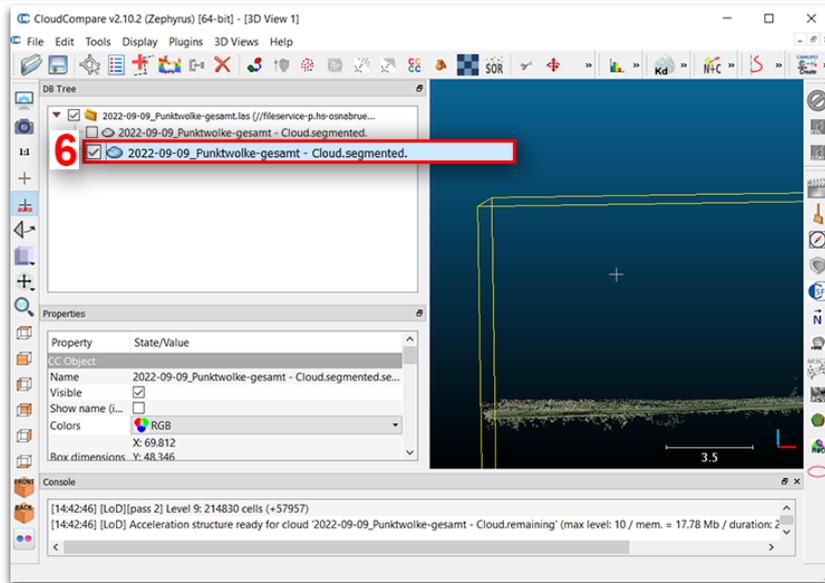
5) Auswahl bestätigen

Confirm segmentation *anwählen*



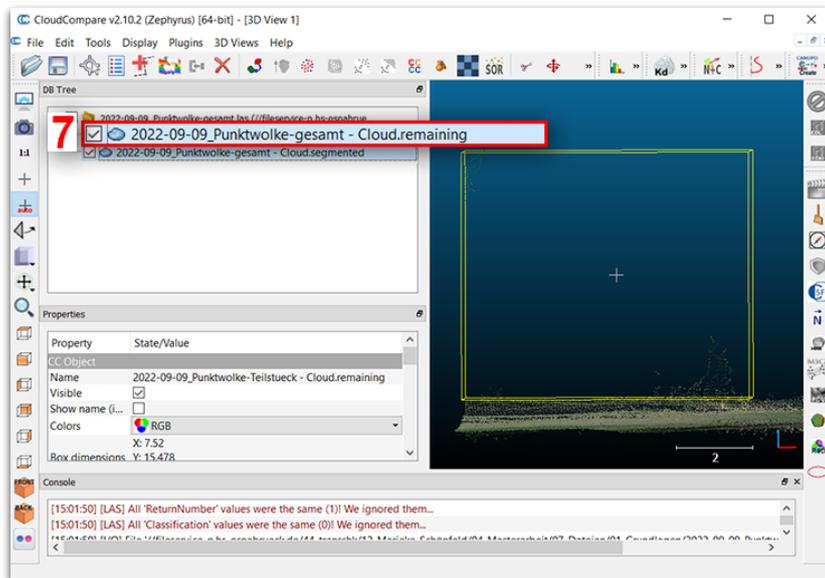
6) Zwischenergebnis

Auswahl wird als neue Punktwolkendatei erstellt



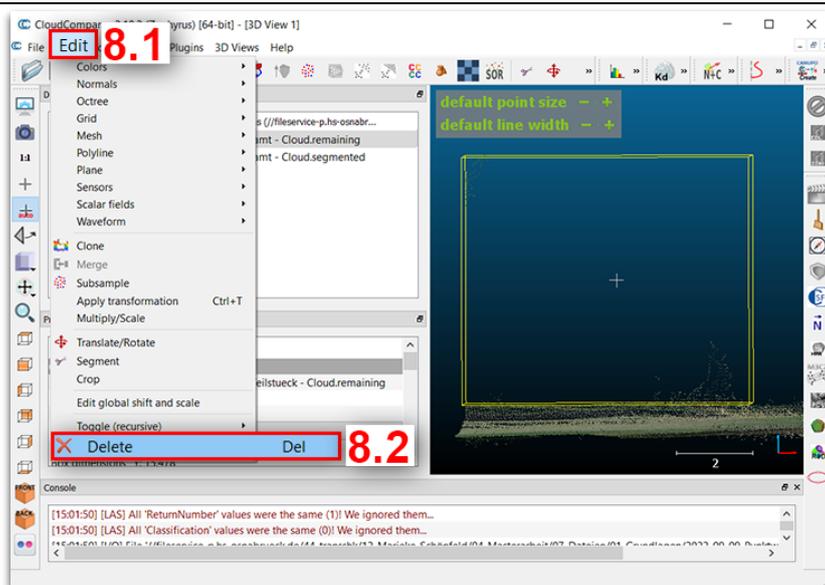
7) Punktwolke gesamt anwählen

mit linker Maustaste anwählen



8) Segment löschen

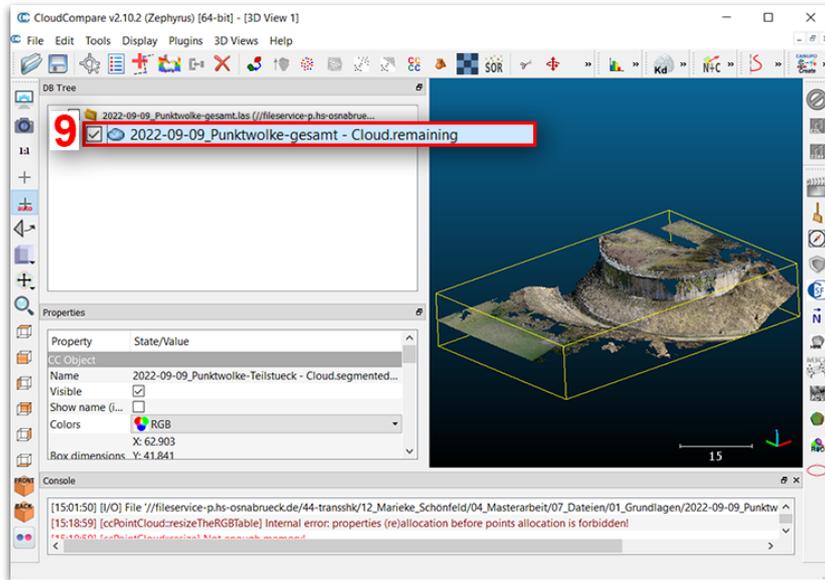
Edit → Delete anwählen



Schritte 1 – 8 in unterschiedlichen Ansichtswinkeln wiederholen, bis der gesamte sichtbare Bewuchs und störende Punkte gelöscht sind.

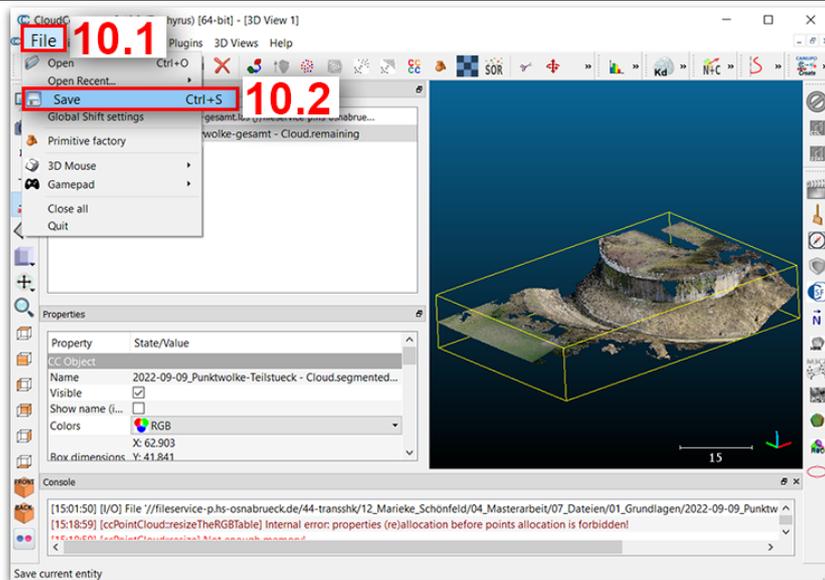
9) Punktwolkensegment anwählen

mit linker Maustaste anwählen



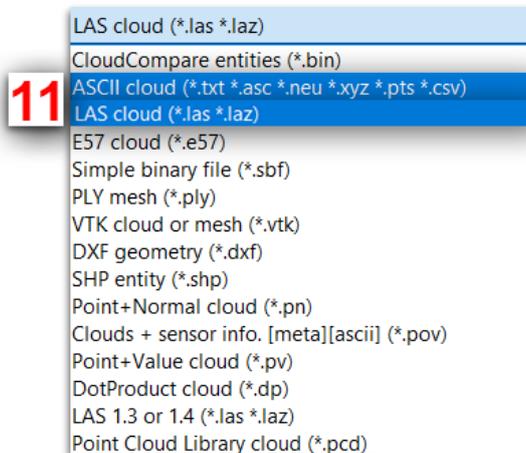
10) Datei speichern

Edit → Save anwählen



11) Dateityp auswählen

Datei bspw. als LAS cloud oder ASCII cloud speichern



3 WORKFLOW: GELÄNDEMODELL IN AUTODESK CIVIL 3D ERSTELLEN

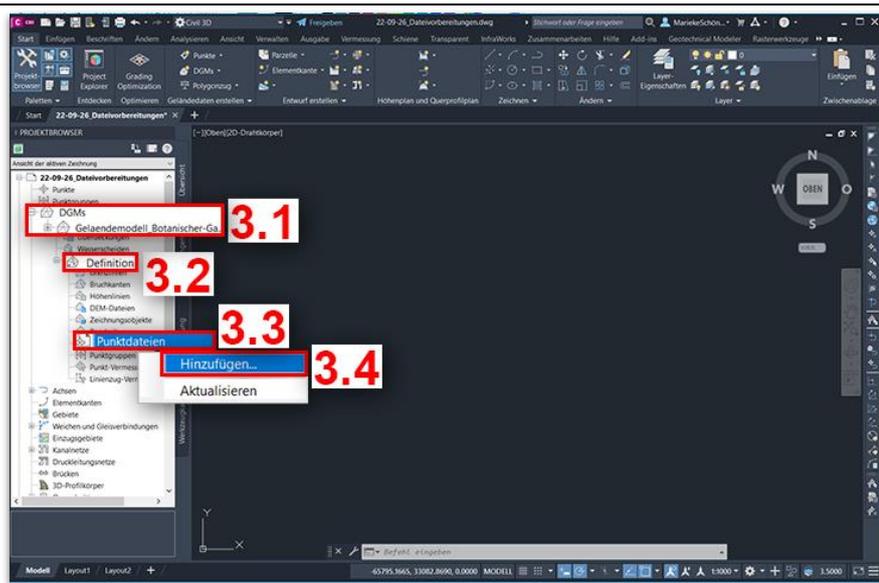
Tabelle 8: Workflow: Geländemodell in Autodesk Civil 3D erstellen. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) DGM erstellen</p> <p>Im Projektbrowser über den Reiter Übersicht Rechtsklick auf DGMs, DGM erstellen anwählen</p>	
<p>2) Voreinstellungen bestätigen</p> <p>Typ Trianguliertes Modell auswählen, Name Gelaendemo-dell_Botanischer Garten eingeben und mit OK bestätigen</p> <p>Hier kann wahlweise ein anderer Stil eingestellt werden</p>	

3) Punktdatei hinzufügen

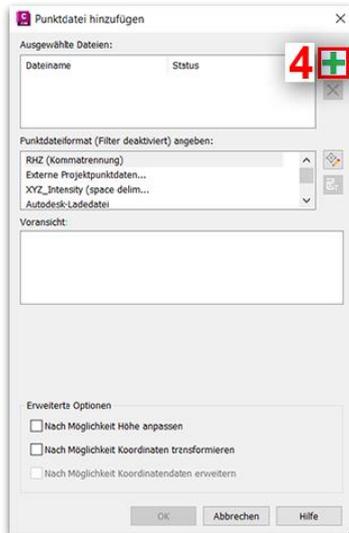
DGMs → Gelaendemodell_Botanischer-Garten → Definition

Rechtsklick auf Punktdateien und Hinzufügen auswählen



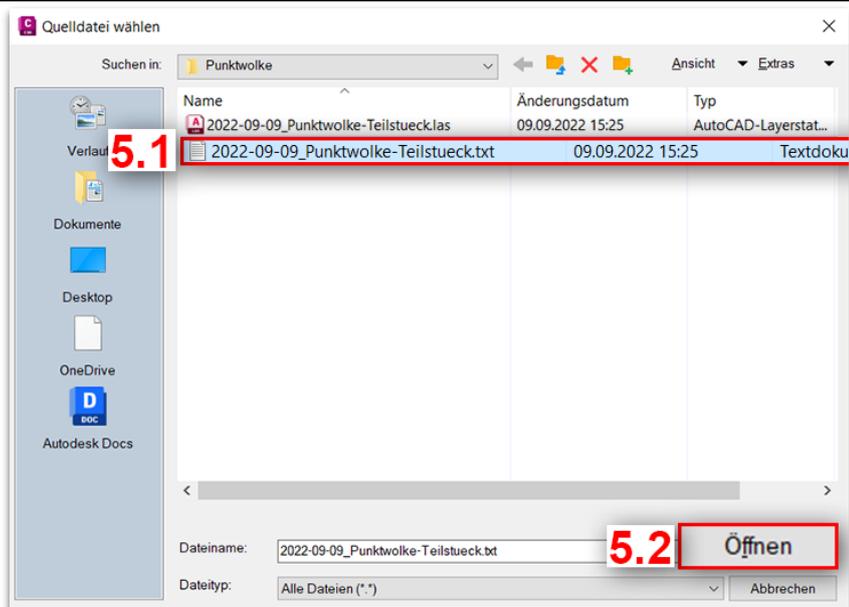
4) Punktdatei hinzufügen

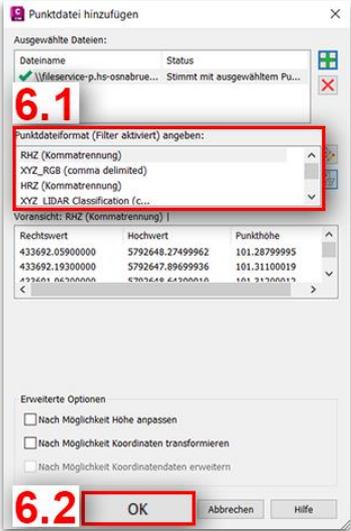
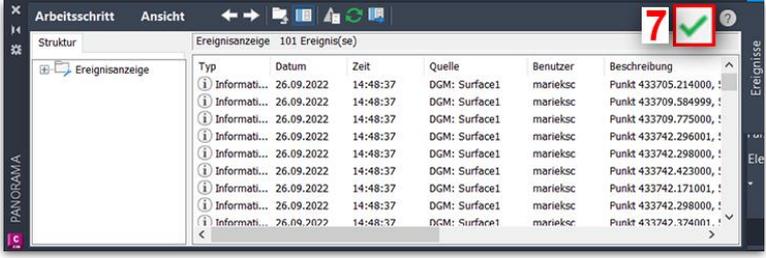
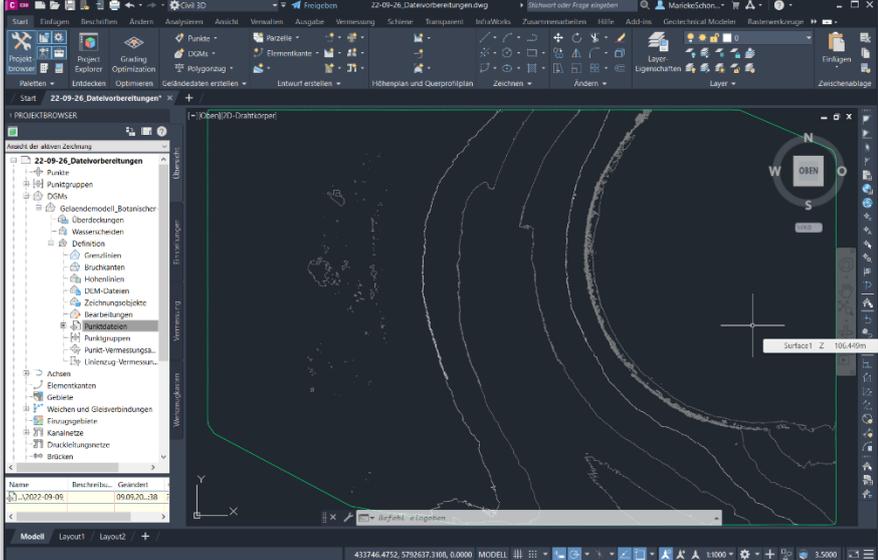
Hinzufügen auswählen



5) Punktwolkendatei auswählen

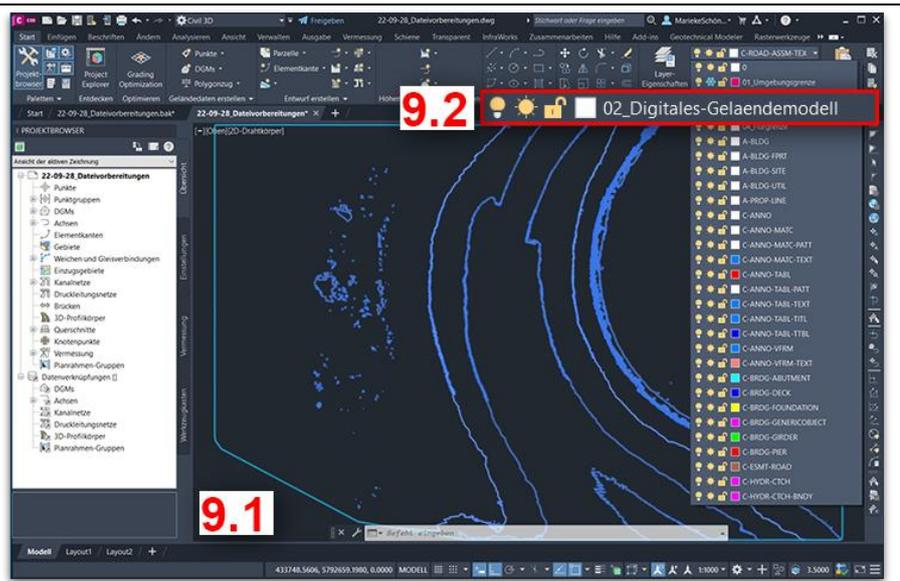
Punktwolkendatei auswählen und mit Öffnen bestätigen



<p>6) Format überprüfen</p> <p>Punktdateiformat kontrollieren, ggf. anpassen und anschließend mit OK bestätigen</p>	
<p>7) Punkte bestätigen</p> <p>Punkte über Grünen Haken bestätigen</p>	
<p>8) Ergebnis</p> <p>Importierte Punktwolke als DGM</p>	

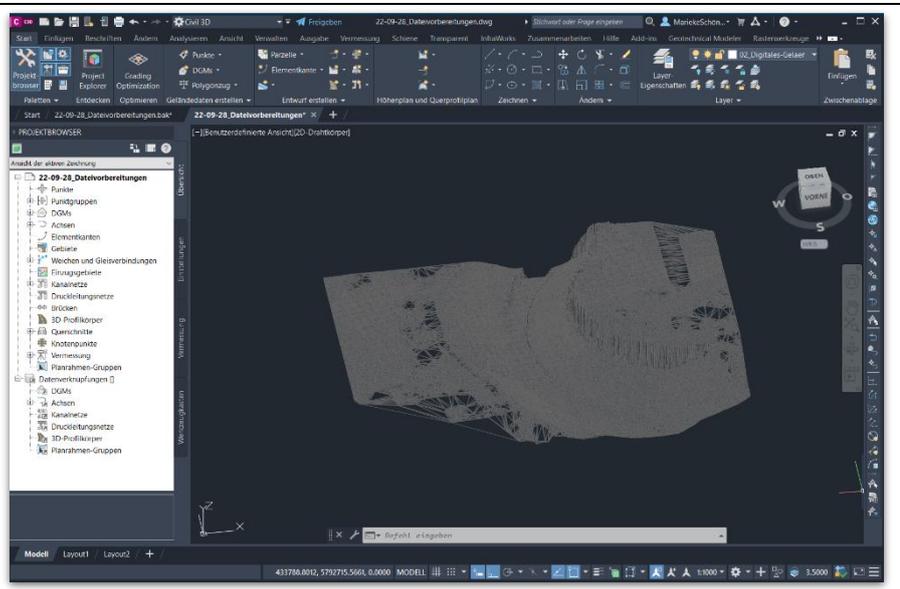
9) Layer auswählen

DGM anwählen und auf den Layer ,02-Digitales-Gelaendemo-dell' verschieben



10) Ergebnis

Ergebnis DGM

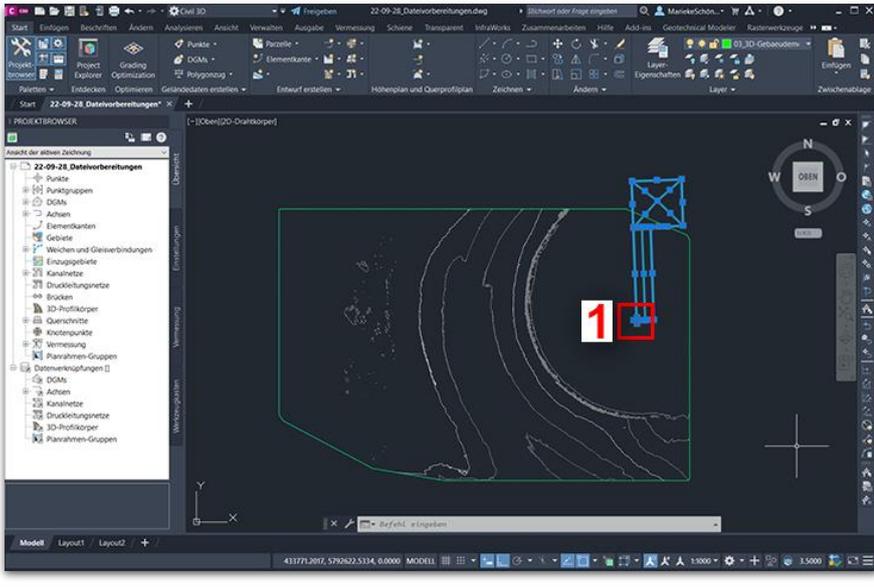
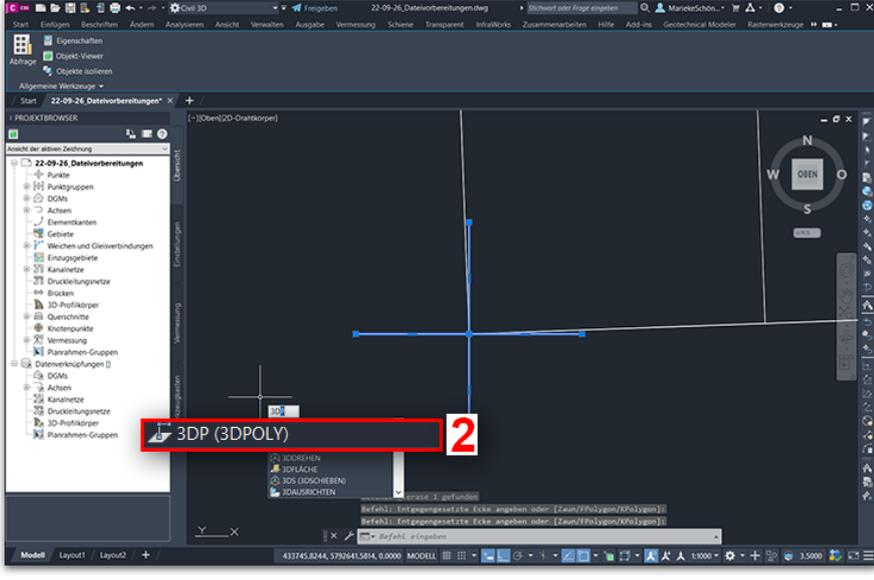


4 WORKFLOWS: GELÄNDEMDELLE IN AUTODESK REVIT ERSTELLEN

4.1 Vorbereitungen in Autodesk Civil 3D

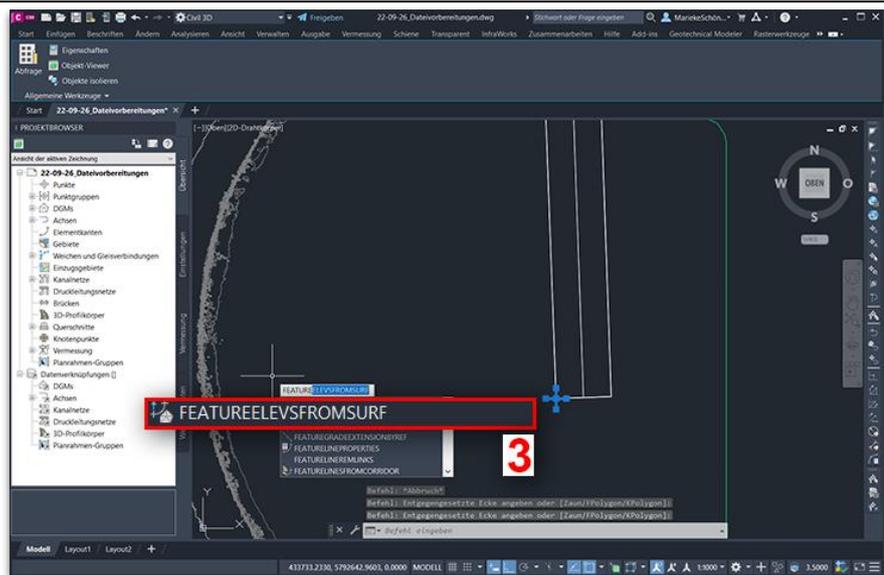
4.1.1 Erstellung eines Projekt-Basispunkts

Tabelle 9: Erstellung eines Projekt-Basispunkts. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Zoomen</p> <p>In den Bereich der linken unteren Hausecke zoomen</p>	
<p>2) Fadenkreuz zeichnen</p> <p>mit dem Befehl 3D-Polylinie ein Fadenkreuz an der linken unteren Hausecke zeichnen</p>	

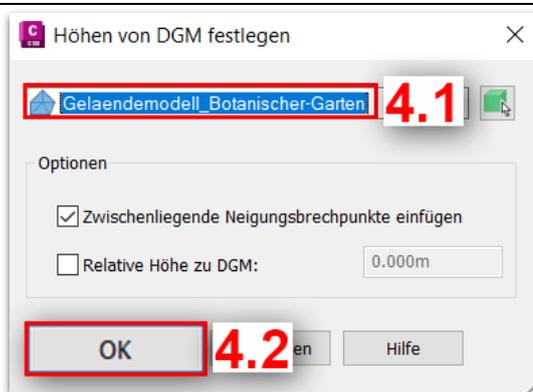
3) Fadenkreuz auf DGM projizieren

den Befehl **featurelevsfromsurf** eingeben und mit **Enter bestätigen**



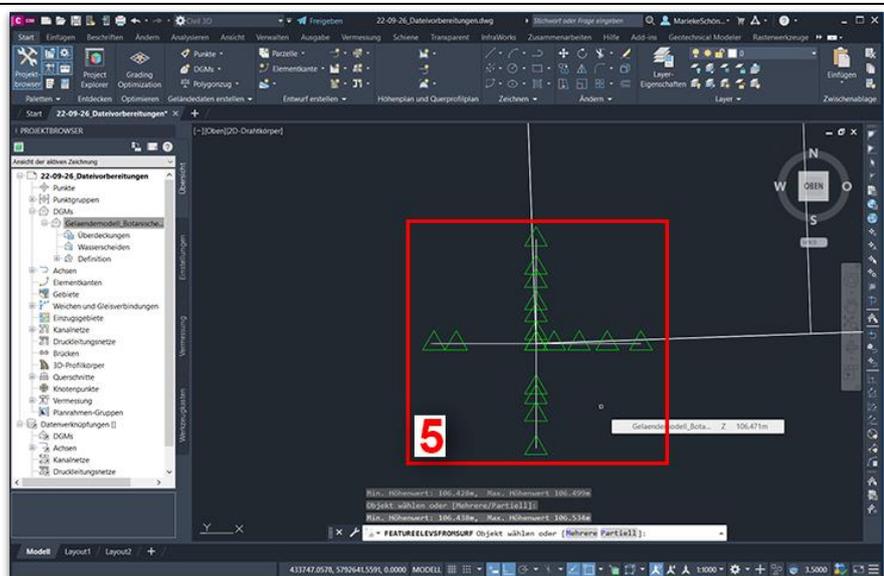
4) DGM auswählen

DGM *auswählen* und mit **OK bestätigen**



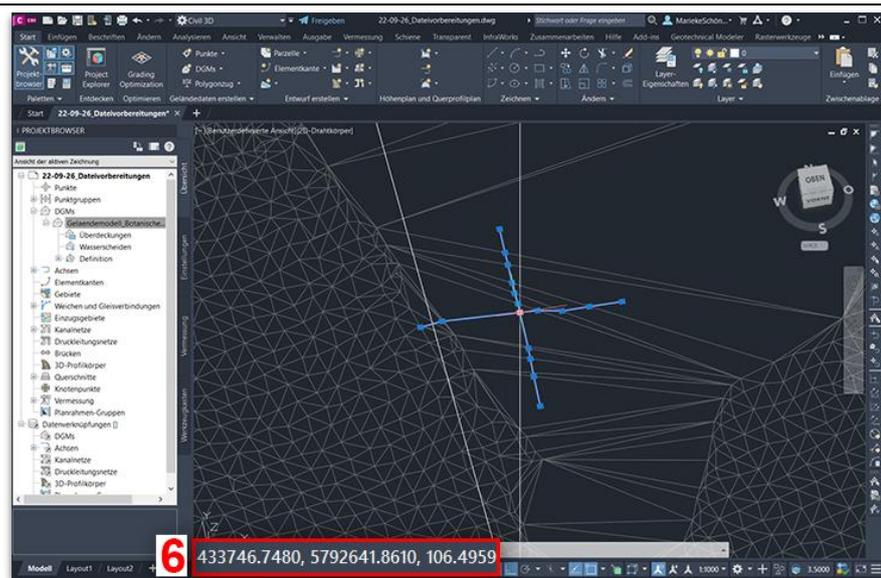
5) Fadenkreuz auswählen

beide **Linien** des Fadenkreuzes *anwählen* und den Befehl mit **Enter abschließen**



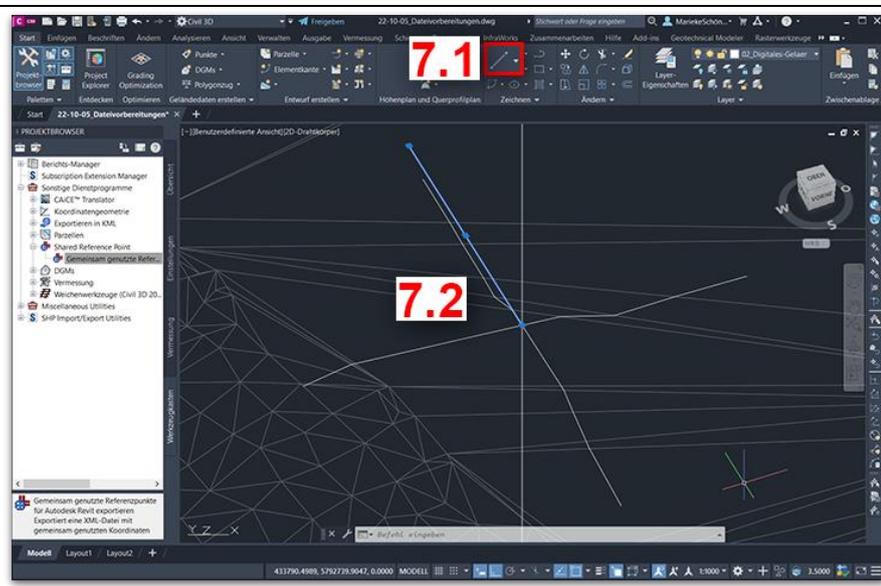
6) Ergebnis

Ergebnis Projektbasispunkt



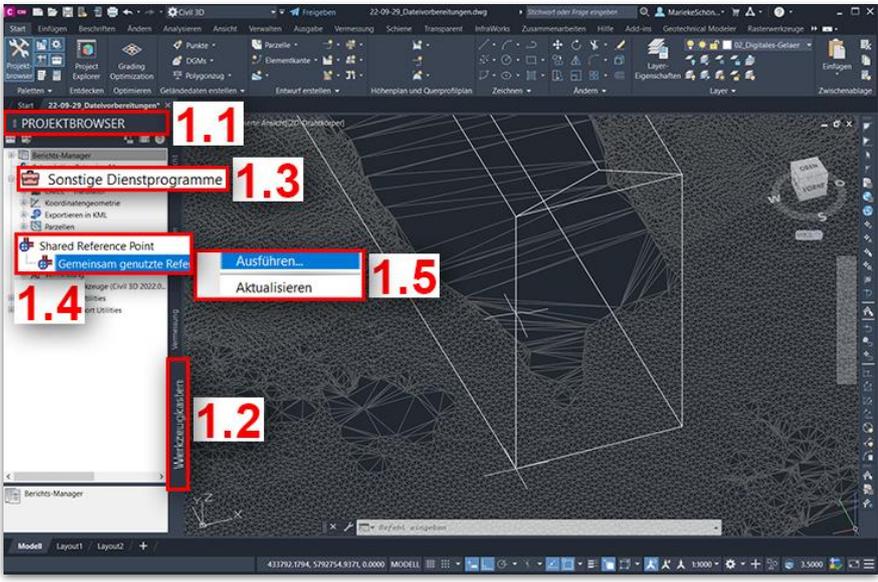
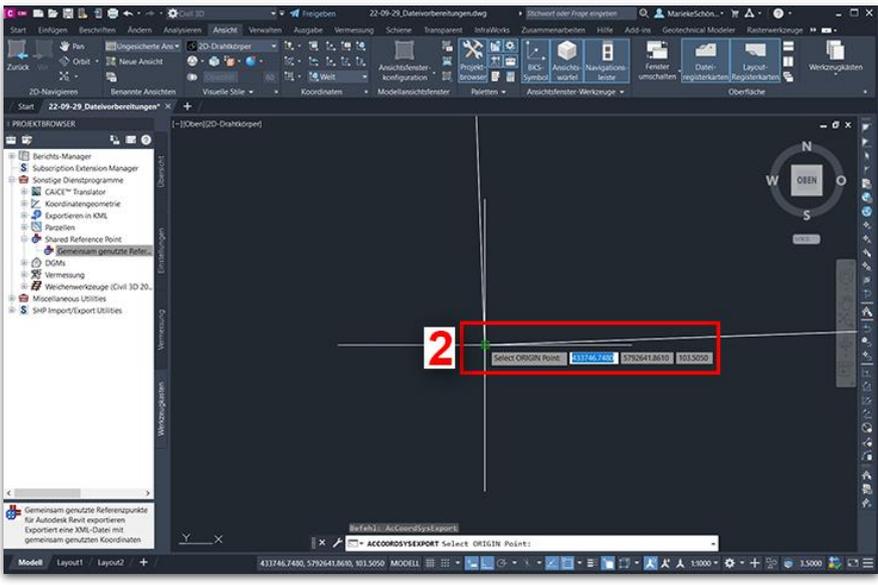
7) Nordlinie zeichnen

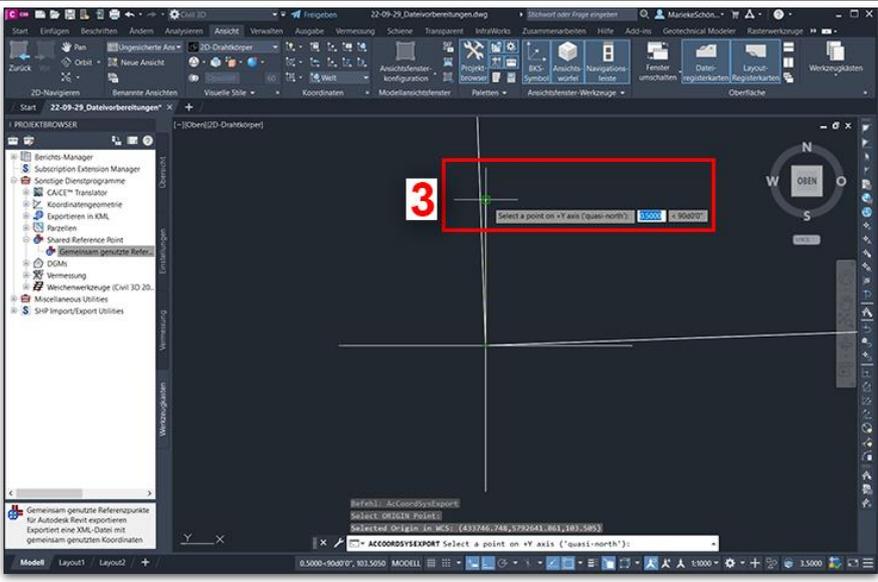
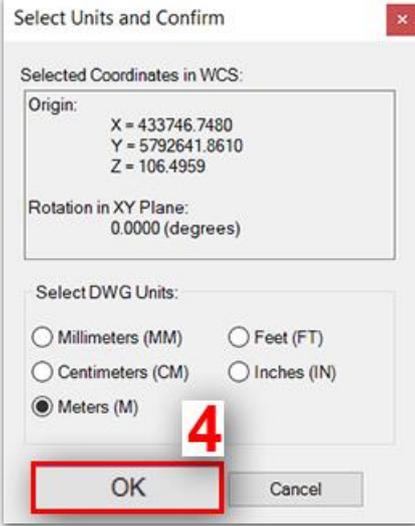
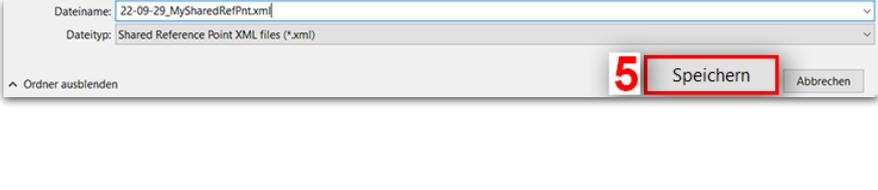
Für den späteren Export des Projektbasispunkts wird zusätzlich über den Befehl **Linie** eine Gerade ausgehend vom Projektbasispunkt in Richtung des geografischen Nordens *gezeichnet*



4.1.2 Projektbasispunkt als ‚Shared Reference Point‘ exportieren

Tabelle 10: Projektbasispunkt als ‚Shared Reference Point‘ exportieren. EIGENE DARSTELLUNG.

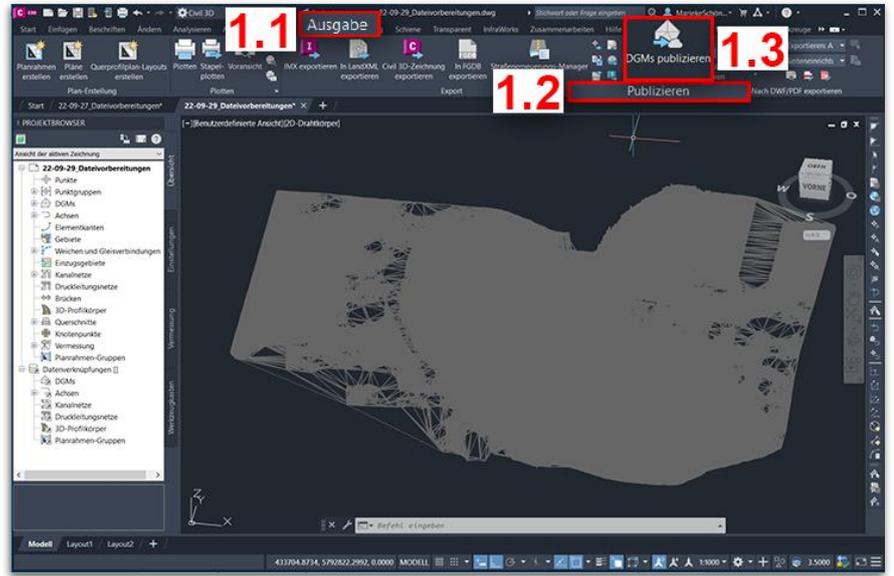
<p>1) Shared Reference Point auswählen</p> <p>Projektbrowser → Werkzeugkasten → Sonstige Dienstprogramme → Shared Reference Point</p> <p>Rechtsklick auf Gemeinsam genutzte Referenzpunkte und Ausführen anwählen</p>	
<p>2) Projektbasispunkt auswählen</p> <p>Projektbasispunkt anwählen</p>	

<p>3) Y-Richtung vorgeben</p> <p>Punkt auf der zuvor angelegten Geraden in Richtung des geografischen Nordens (Y-Achse) <i>anwählen</i></p>	
<p>4) Einheiten bestätigen</p> <p>Voreingestellte Einheit ‚Meter‘ mit OK <i>bestätigen</i></p>	
<p>5) Ergebnis</p> <p>Referenzpunkt über Speichern als .xml <i>abspeichern</i></p>	

4.2 Workflow: Geländemodell – ‚Topographie verknüpfen‘

4.2.1 Geländemodell 1 aus Autodesk Civil 3D publizieren

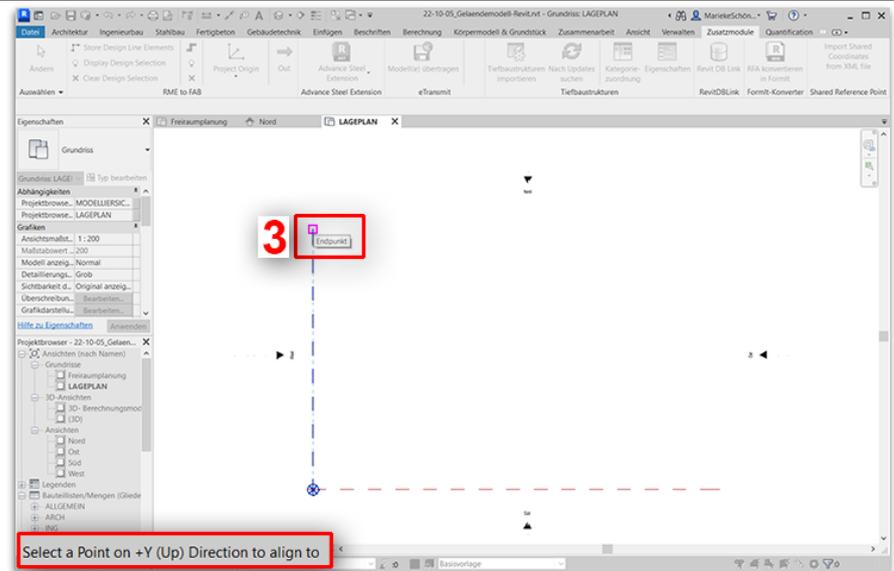
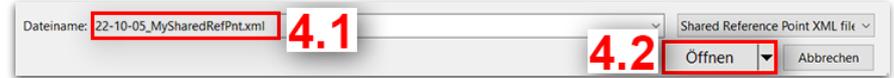
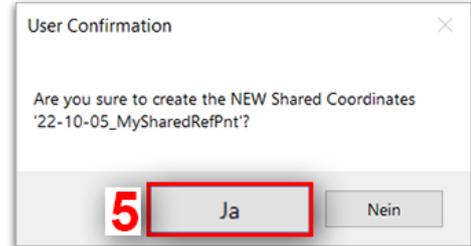
Tabelle 11: Geländemodell aus Autodesk Civil 3D publizieren. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) DGM publizieren</p> <p>Im Reiter Ausgabe in der Gruppe Publizieren DGM publizieren anwählen</p>	
<p>2) Ausgabedatei angeben</p> <p>Ausgabedatei muss in den Ordner Autodesk Docs exportiert werden, Pfad wählen und mit OK bestätigen</p>	
<p>3) Stil bestätigen</p> <p>DGM mit aktualisiertem Stil publizieren auswählen</p>	<p>DGM publizieren - DGM-Stilanzeige</p> <p> Ein zu publizierendes DGM verwendet einen Stil, der zu ungenauen Ergebnissen in anderen Anwendungen führt. Was möchten Sie tun?</p> <p>Um sicherzustellen, dass das publizierte DGM in anderen Anwendungen richtig angezeigt wird, wird der DGM-Stil automatisch aktualisiert.</p> <p>3 → DGM mit aktualisiertem Stil publizieren Der Stil in der aktuellen Zeichnung wird nicht geändert</p> <p>→ Publizierungsoperation abbrechen</p> <p><input type="checkbox"/> DGMs immer mit aktualisiertem Stil publizieren</p>

4.2.2 ‚Shared Reference Point‘ als Projekt-Basispunkt importieren

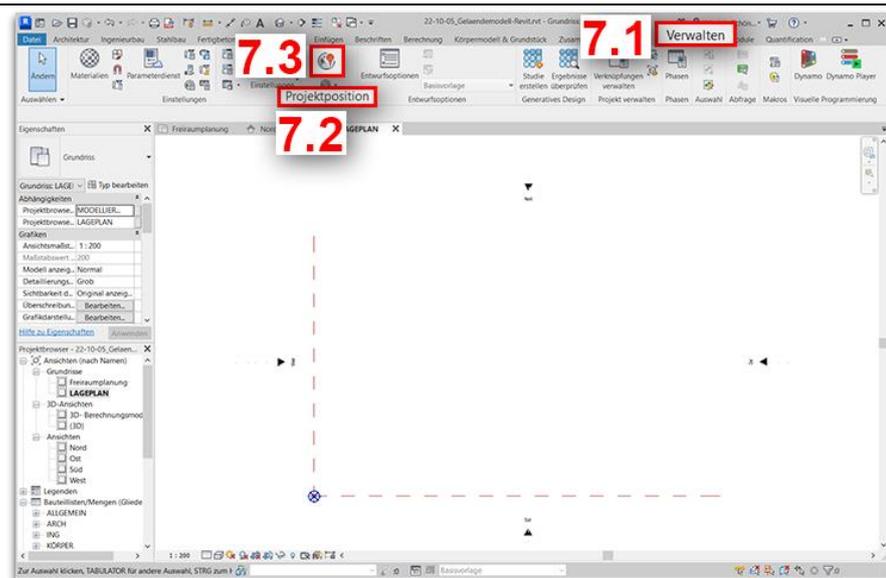
Tabelle 12: ‚Shared Reference Point‘ als Projekt-Basispunkt importieren. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Koordinaten importieren</p> <p>Auf der Ebene LAGEPLAN über den Reiter Zusatzmodule in der Gruppe Shared Reference Point den Befehl Import Shared Coordinates from XML file auswählen</p>	
<p>2) Ursprung auswählen</p> <p>Als Ursprungspunkt wird der Projektbasispunkt angewählt</p>	

<p>3) Punkt auf Y-Achse</p> <p>der geografische Norden wird durch einen Punkt auf der Y-Achse angewählt</p>	
<p>4) XML Datei auswählen</p> <p>die zuvor erzeugte XML-Datei des Referenzpunkts <i>auswählen</i> und <i>öffnen</i></p>	
<p>5) Abfrage bestätigen</p> <p>Mit Ja bestätigen</p>	
<p>6) Befehl beenden</p> <p>Mit OK bestätigen</p>	

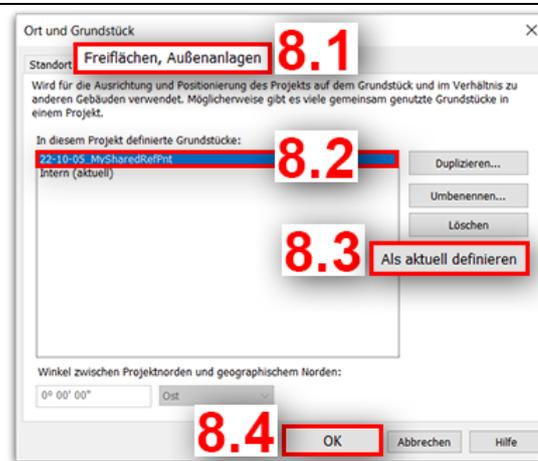
7) Standort einstellen

über den Reiter **Verwalten** in der Gruppe **Projektposition** den Befehl **Standort auswählen**



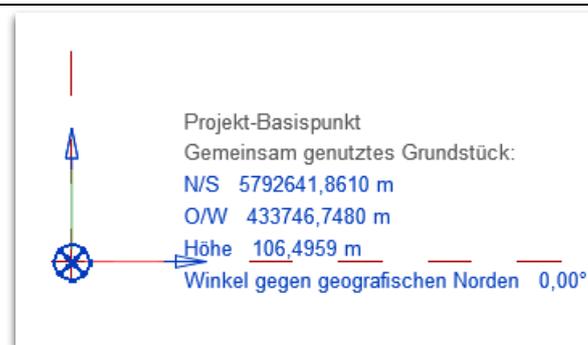
8) Grundstück auswählen

über den Reiter **Freiflächen, Außenanlagen** den zuvor importierten **Referenzpunkt** auswählen **Als aktuell definieren** und mit **OK bestätigen**



9) Ergebnis

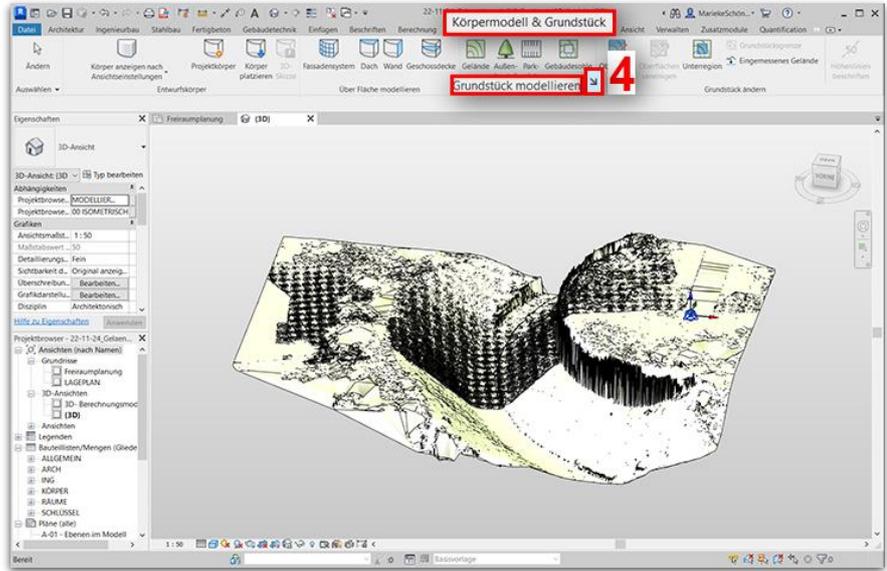
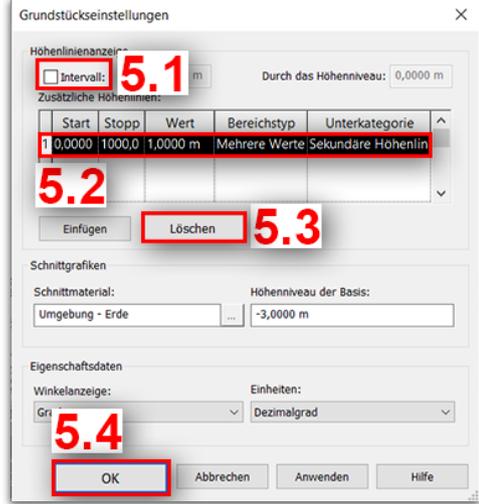
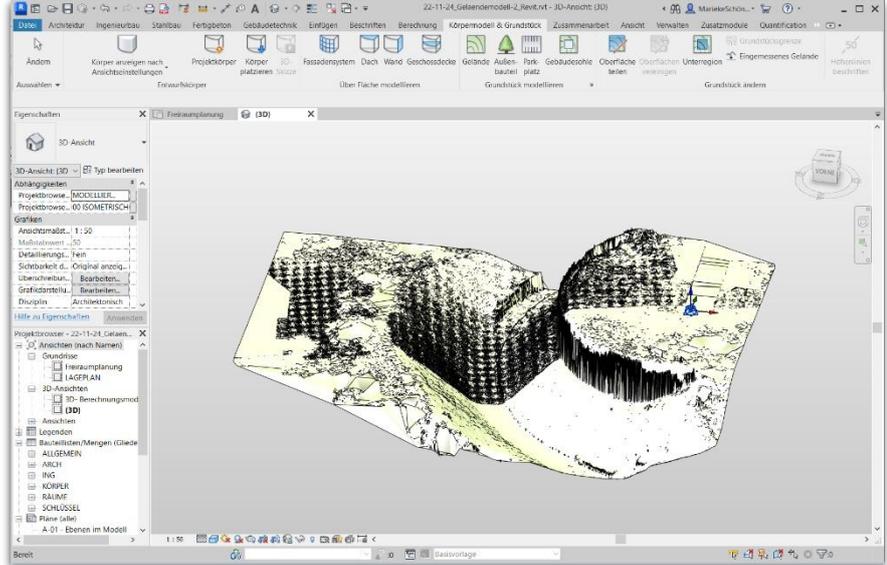
Die Koordinaten des Referenzpunktes sind nun am Projektbasispunkt definiert



4.2.3 Topographie verknüpfen

Tabelle 13: Topographie verknüpfen. EIGENE DARSTELLUNG.

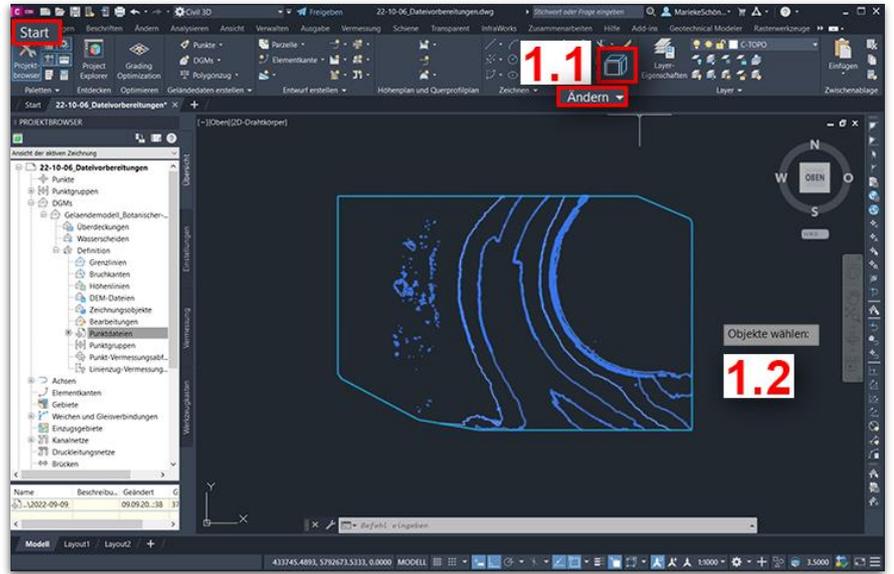
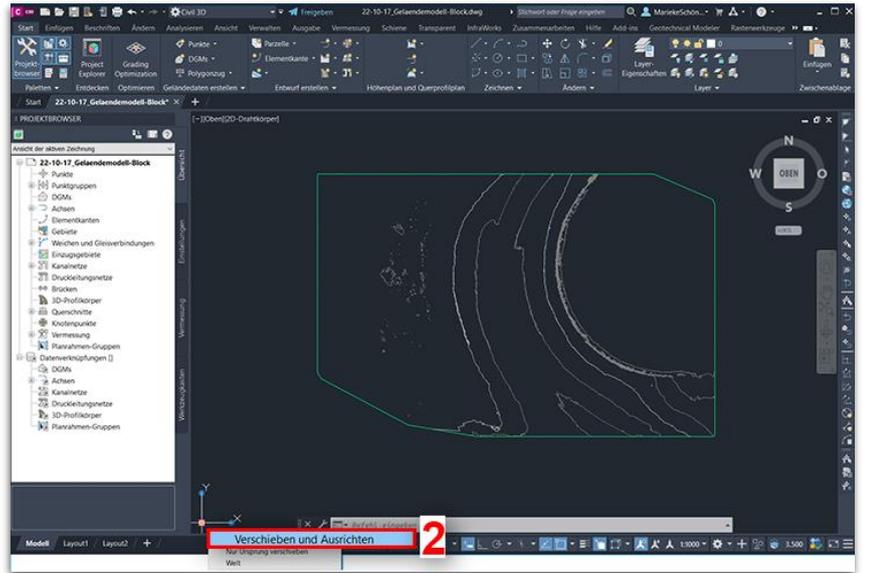
<p>1) Topographie verknüpfen</p> <p>In der Ebene 3D-Ansicht sich dreidimensional im Raum platzieren</p> <p>Achtung! Funktioniert <u>nicht</u> in der Draufsicht</p> <p>Über den Reiter Einfügen in der Gruppe Verknüpfungen den Befehl Topographie verknüpfen anwählen</p>	
<p>2) Geländemodell auswählen</p> <p>In der Verknüpfung zu Autodesk Docs das zuvor aus Civil 3D exportierte Geländemodell-Botanischer-Garten auswählen und mit Verknüpfen bestätigen</p>	
<p>3) Information schließen</p> <p>Information über Schließen schließen</p> <p>Achtung! Das Geländemodell und der Referenzpunkt nutzen</p>	

<p>trotzdem dasselbe Koordinatensystem</p>											
<p>4) Grundstückseinstellungen öffnen</p> <p>Über den Reiter Körpermodell & Grundstück in der Gruppe Grundstück modellieren die Grundstückseinstellungen öffnen</p>											
<p>5) Grundstückseinstellungen anpassen</p> <p>Intervall <i>deaktivieren</i>, zusätzliche Höhenlinien <i>löschen</i> und mit OK bestätigen</p>	 <table border="1" data-bbox="523 987 938 1099"> <thead> <tr> <th>Start</th> <th>Stopp</th> <th>Wert</th> <th>Bereichstyp</th> <th>Unterkategorie</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 0,0000</td> <td>1000,0</td> <td>1,0000 m</td> <td>Mehrerer Werte</td> <td>Sekundäre Höhenlinie</td> </tr> </tbody> </table>	Start	Stopp	Wert	Bereichstyp	Unterkategorie	1 0,0000	1000,0	1,0000 m	Mehrerer Werte	Sekundäre Höhenlinie
Start	Stopp	Wert	Bereichstyp	Unterkategorie							
1 0,0000	1000,0	1,0000 m	Mehrerer Werte	Sekundäre Höhenlinie							
<p>6) Ergebnis</p> <p>Das verknüpfte Geländemodell ist am Referenzpunkt ausgerichtet</p>											

4.3 WORKFLOW: GELÄNDEMOMELL – ‚IMPORTEXEMPLAR‘

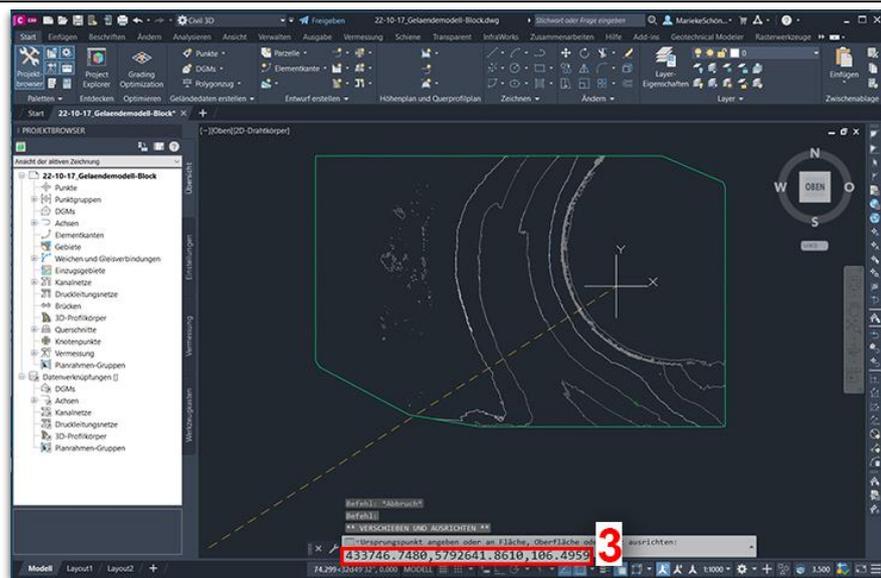
4.3.1 Höhenlinien aus Autodesk Civil 3D exportieren

Tabelle 14: Höhenlinien aus Autodesk Civil 3D exportieren. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Geländemodell sprengen</p> <p>Das in Civil 3D vorliegende Geländemodell 1 2x über den Reiter Start in der Gruppe Ändern über den Befehl Ursprung sprengen</p>	
<p>2) Ursprung verschieben</p> <p>Über einen <i>Rechtsklick</i> auf das Fadenzahn-Symbol den Befehl Verschieben und Ausrichten auswählen</p>	

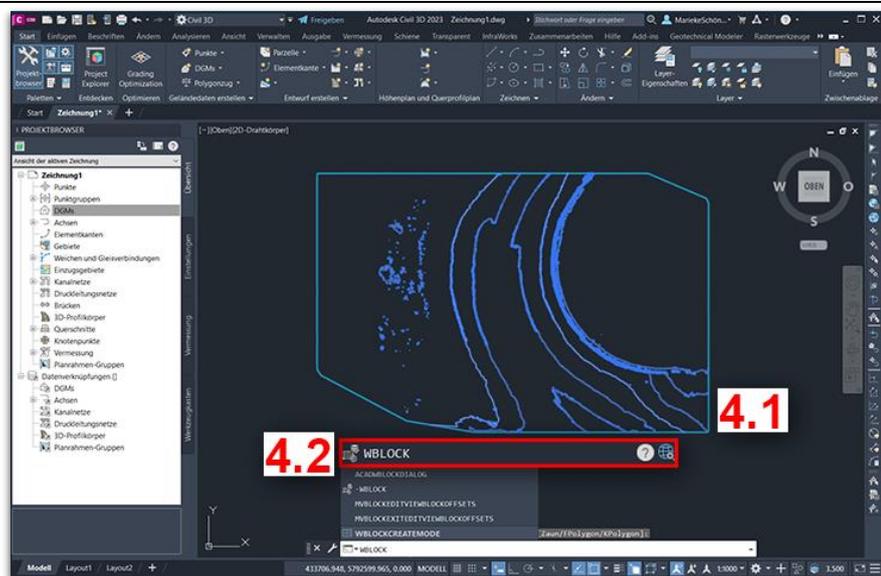
3) Koordinaten ein-
geben

Koordinaten des Projekt-Basispunkts in der Befehlszeile *ein-
geben* und *bestätigen*



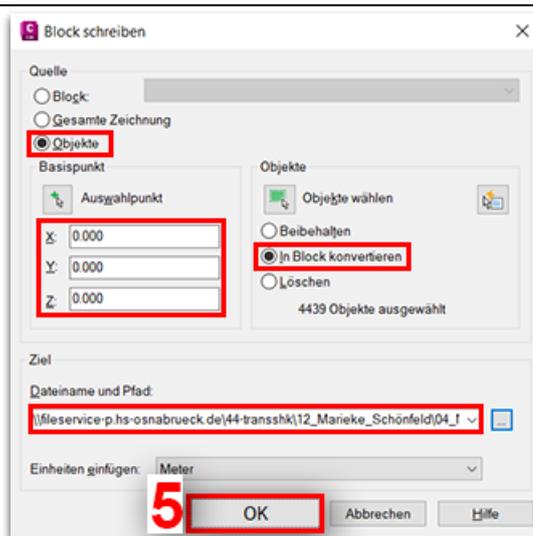
4) WBlock speichern

Den Befehl **WBlock** über die Befehlszeile *auf-
rufen*



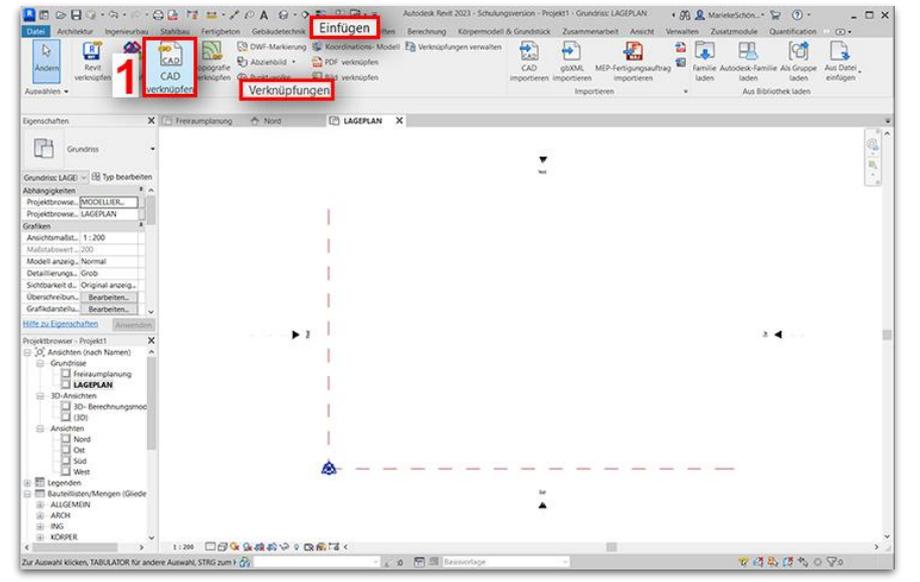
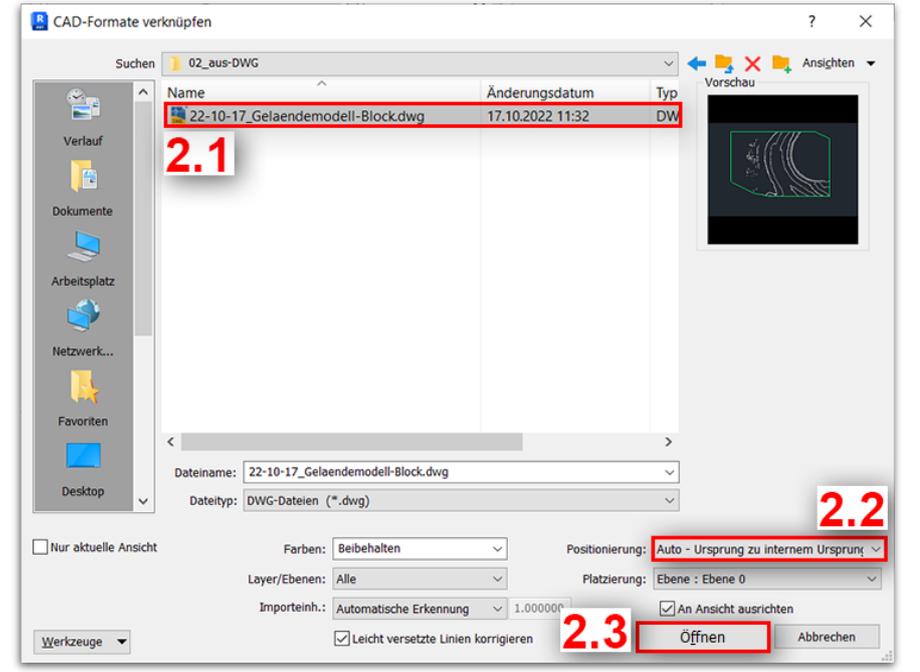
5) WBlock schreiben

In den Einstellungen als **Basispunkt** 0,0,0 *angeben* und mit **OK** *bestätigen*



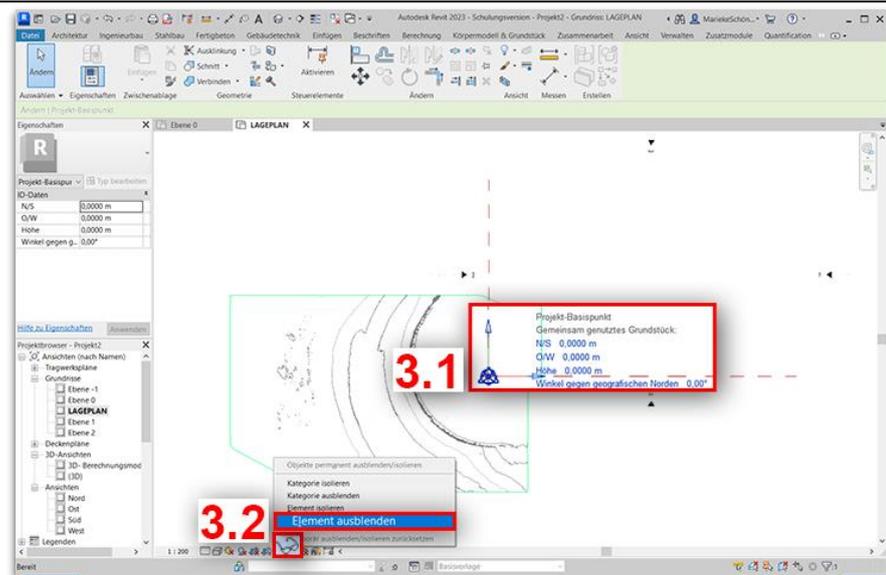
4.3.2 Importexemplar wählen und ‚Shared Reference Point‘ importieren

Tabelle 15: Importexemplar wählen und ‚Shared Reference Point‘ importieren. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) CAD verknüpfen</p> <p>Über den Reiter Einfügen in der Gruppe Verknüpfungen den Befehl CAD verknüpfen auswählen</p>	
<p>2) CAD-Datei auswählen</p> <p>Datei <i>anwählen</i>, als Positionierung Ursprung zu internem Ursprung angeben und mit Öffnen bestätigen</p>	

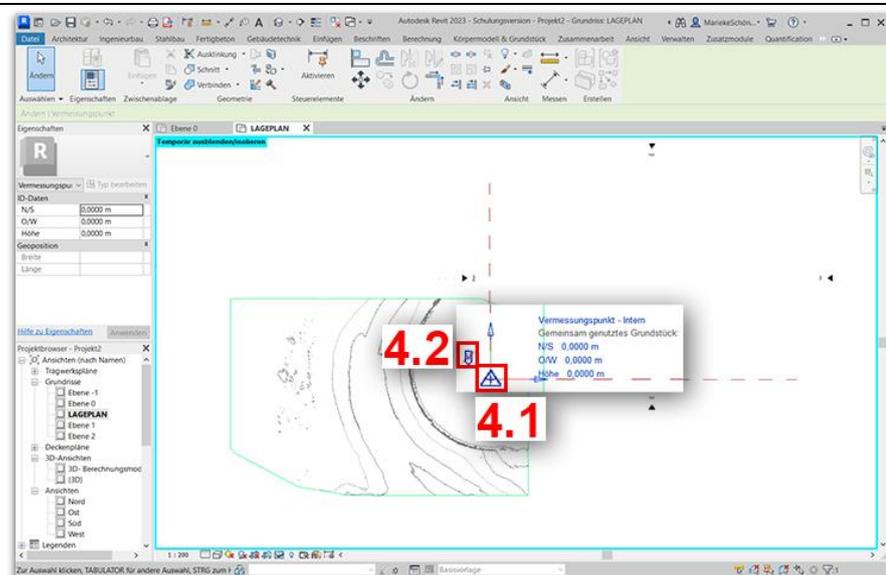
3) Projekt-Basispunkt ausblenden

Damit der Vermesserpunkt mit verschoben wird, den **Projekt-Basispunkt** *anwählen* und über **Element ausblenden** *ausblenden*



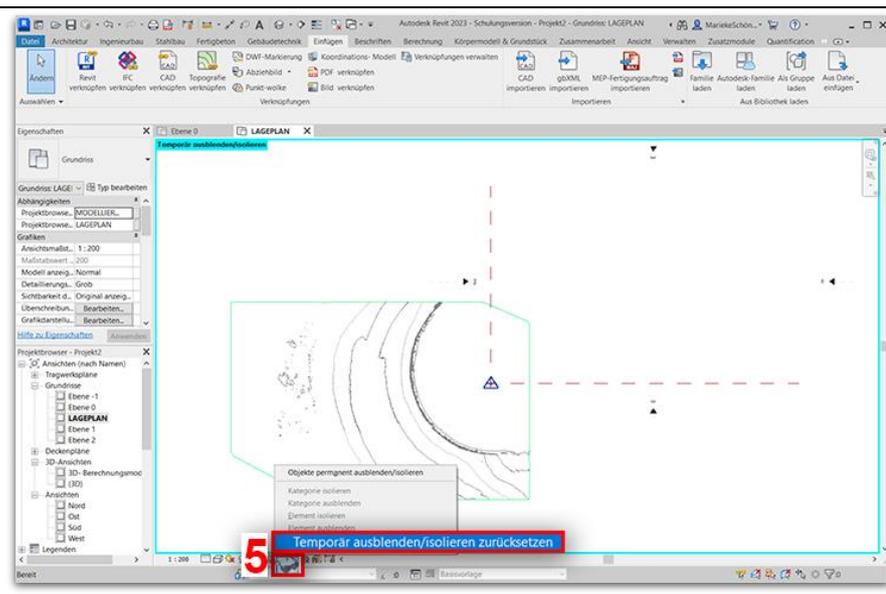
4) Vermesserpunkt lösen

Vermesserpunkt *anwählen* und die **Klammer lösen**



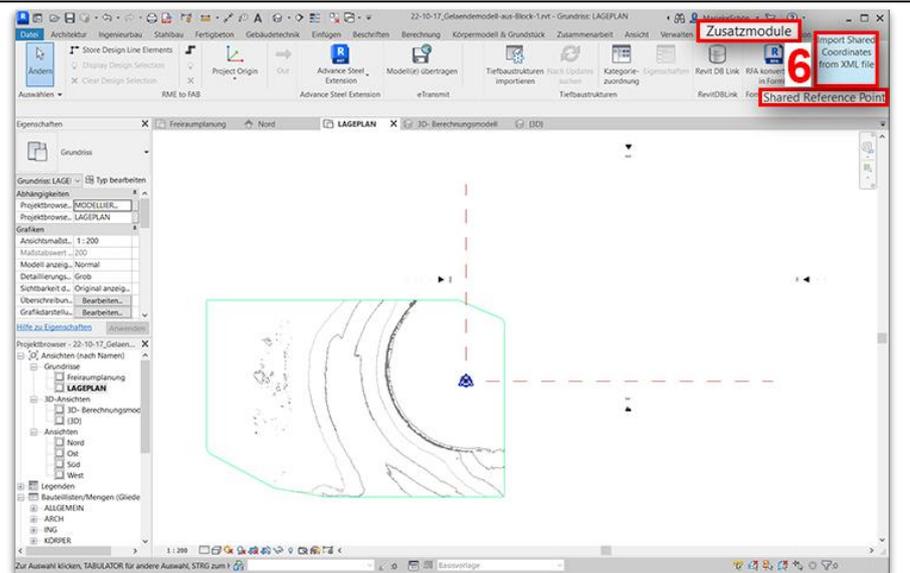
5) CAD verknüpfen

Projekt-Basispunkt über **Temporär ausblenden/isolieren** *zurücksetzen* wieder *einschalten*



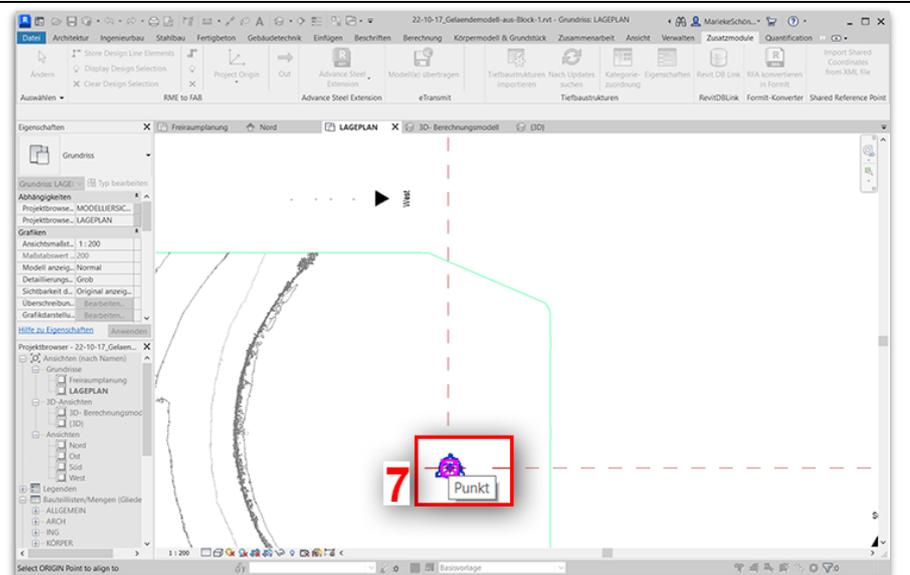
6) Shared Reference Point importieren

Über den Reiter **Zusatzmodule** in der Gruppe **Shared Reference Point** den Befehl **Import Shared Reference Coordinates from XML File** auswählen



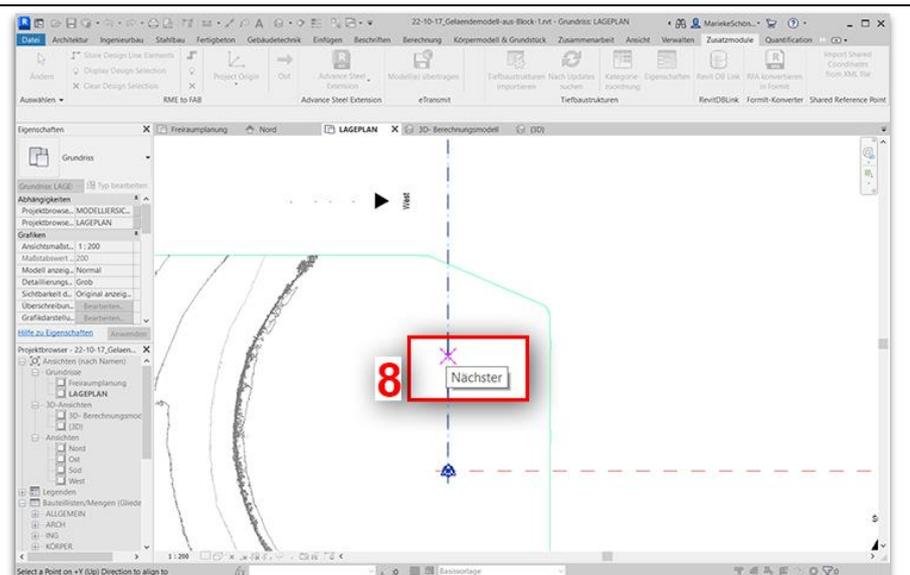
7) Projekt-Basispunkt anwählen

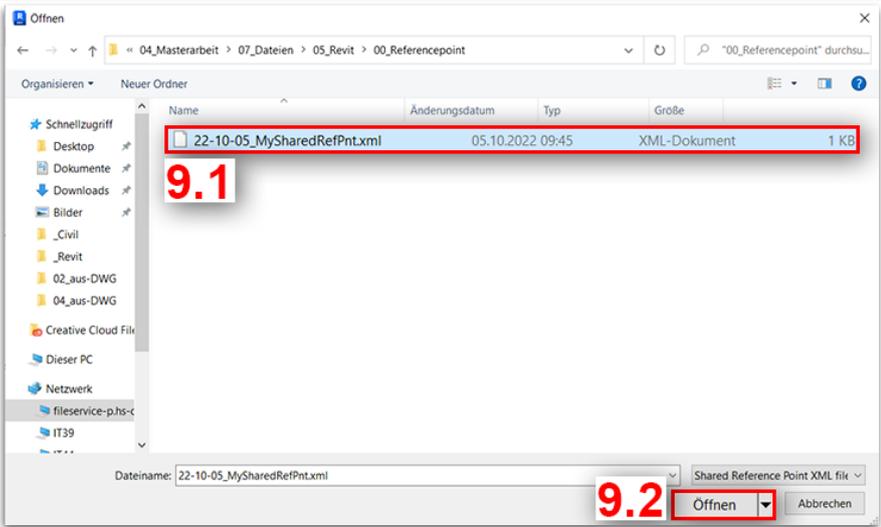
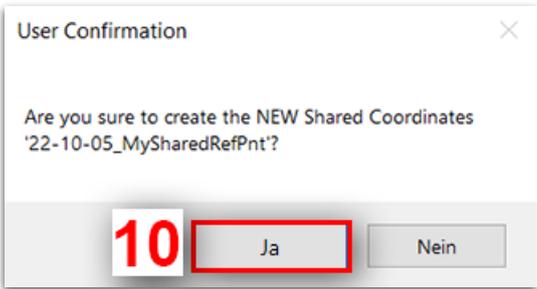
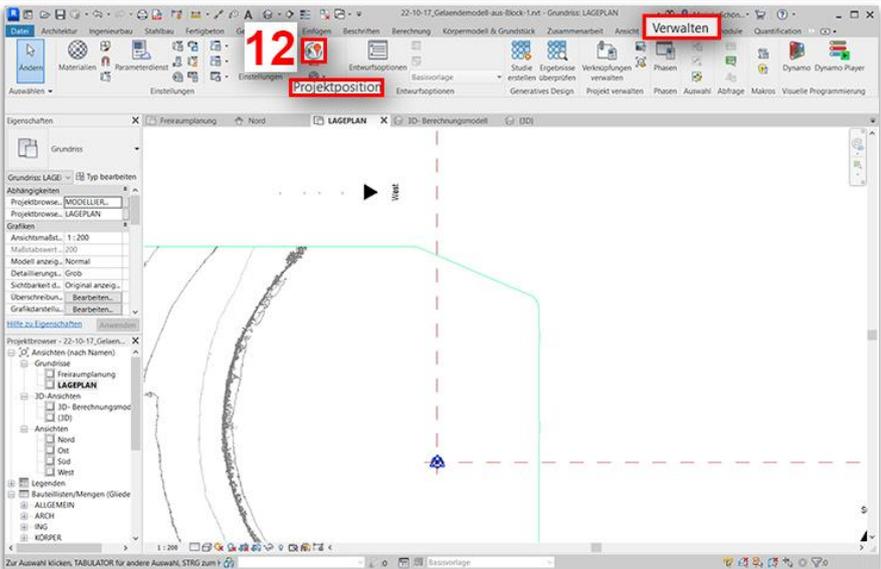
Projekt-Basispunkt anwählen



8) Nordrichtung vorgeben

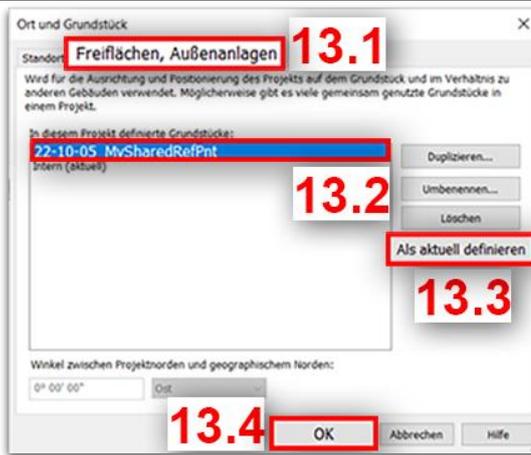
Über einen Klick auf die y-Achse die **Nordrichtung vorgeben**



<p>9) Shared Reference Point öffnen</p> <p>Shared Reference Point <i>anwählen</i> und mit Öffnen <i>bestätigen</i></p>	
<p>10) Meldung akzeptieren</p> <p>Meldung über Ja <i>akzeptieren</i></p>	
<p>11) Meldung bestätigen</p> <p>Meldung mit OK <i>bestätigen</i></p>	
<p>12) Standort aufrufen</p> <p>Über den Reiter Verwalten in der Gruppe Projektposition den Standort aufrufen</p>	

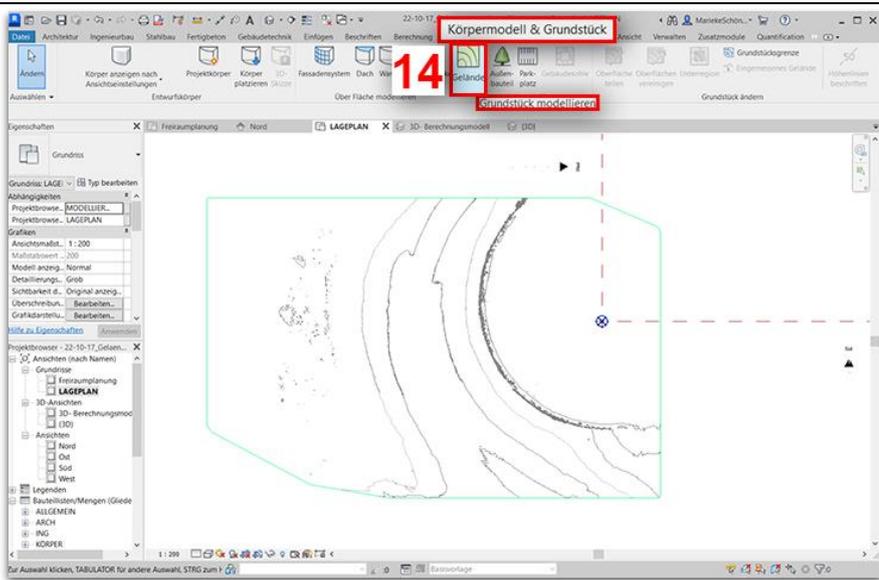
13) Shared Reference Point aktuell stellen

Über den Reiter **Freiflächen, Außenanlagen** den **Shared Reference Point** auswählen, **Als Aktuell definieren** und mit **OK bestätigen**



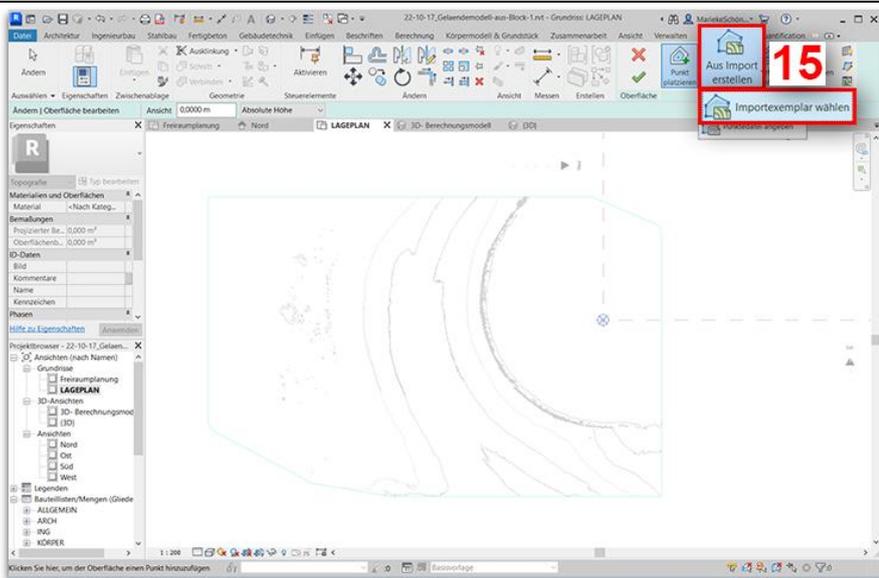
14) CAD verknüpfen

Über den Reiter **Körpermodell & Grundstück** in der Gruppe **Grundstück modellieren** den Befehl **Gelände modellieren** auswählen



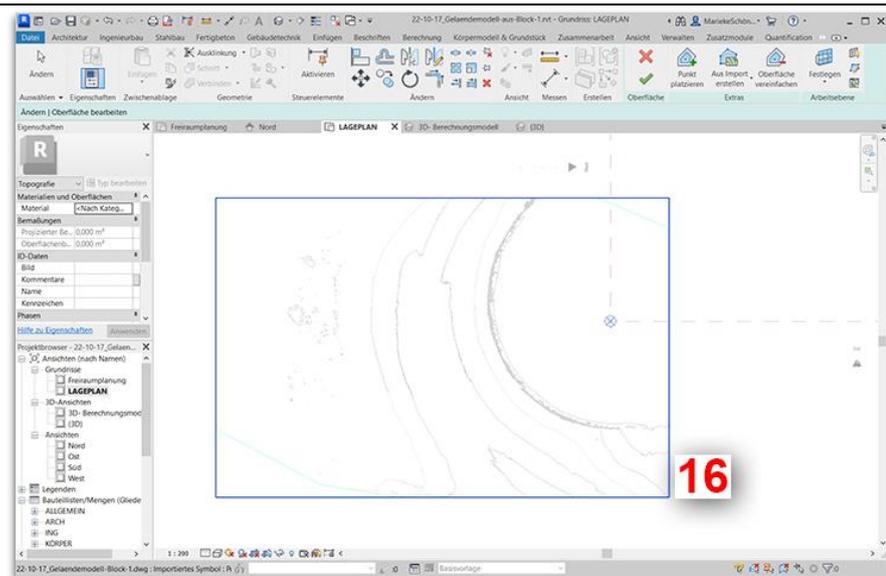
15) Importexemplar wählen

Über **Aus Import erstellen** den Befehl **Importexemplar wählen** aufrufen



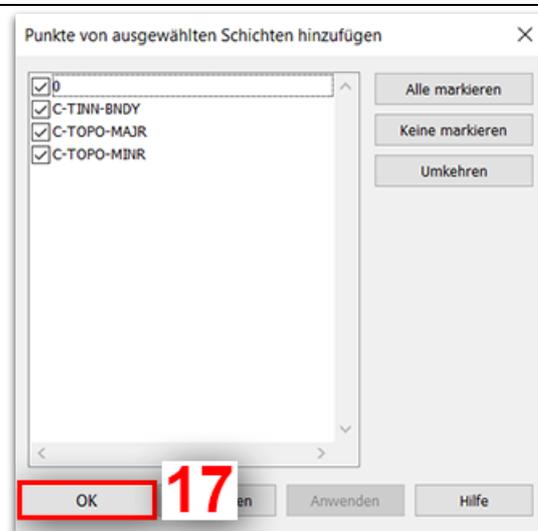
16) CAD-Verknüpfung anwählen

CAD-Verknüpfung anwählen



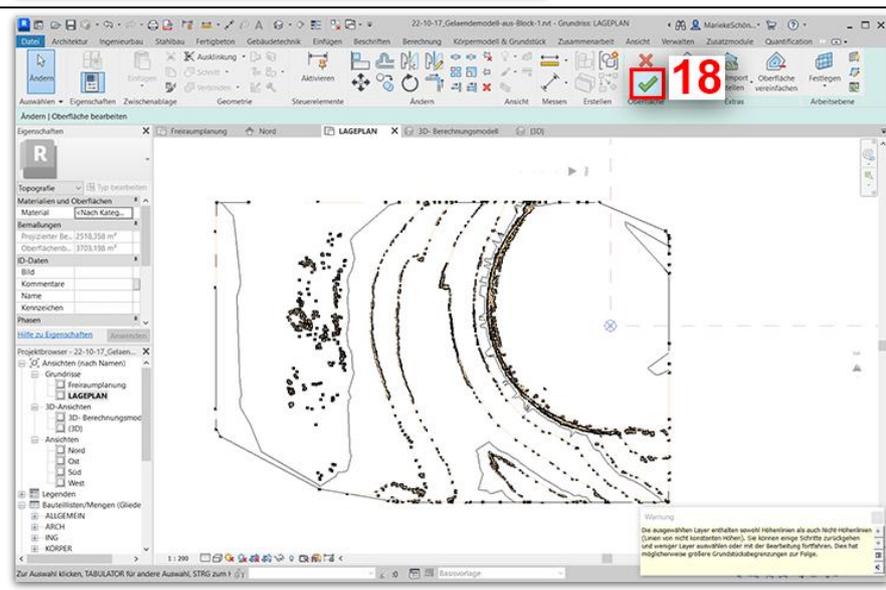
17) Layer bestätigen

Ausgewählte Layer mit OK bestätigen



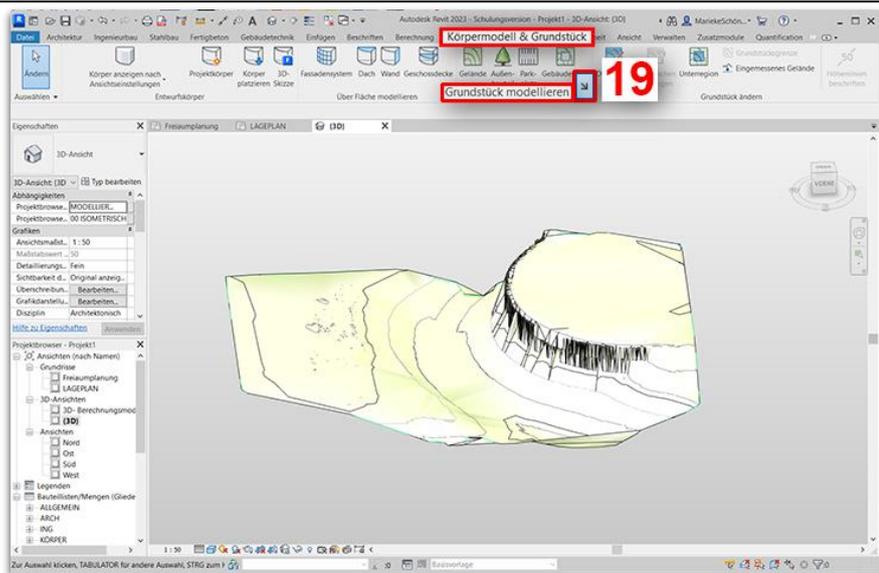
18) CAD-Verknüpfung bestätigen

Ausgewählte CAD-Verknüpfung über den grünen Haken bestätigen



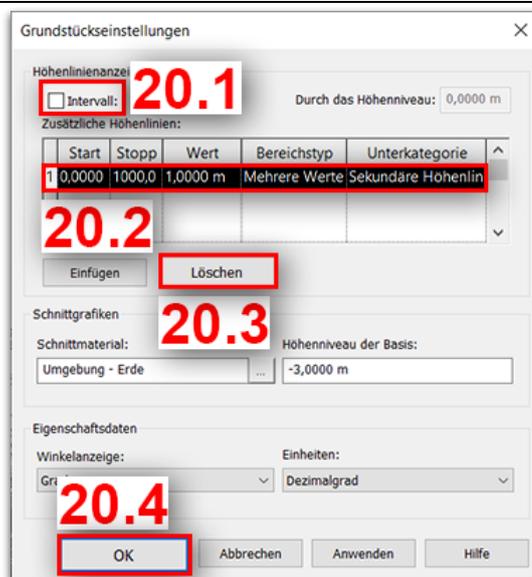
19) Grundstückseinstellungen öffnen

Über den Reiter **Körpermodell & Grundstück** in der Gruppe **Grundstück modellieren** die **Grundstückseinstellungen** öffnen

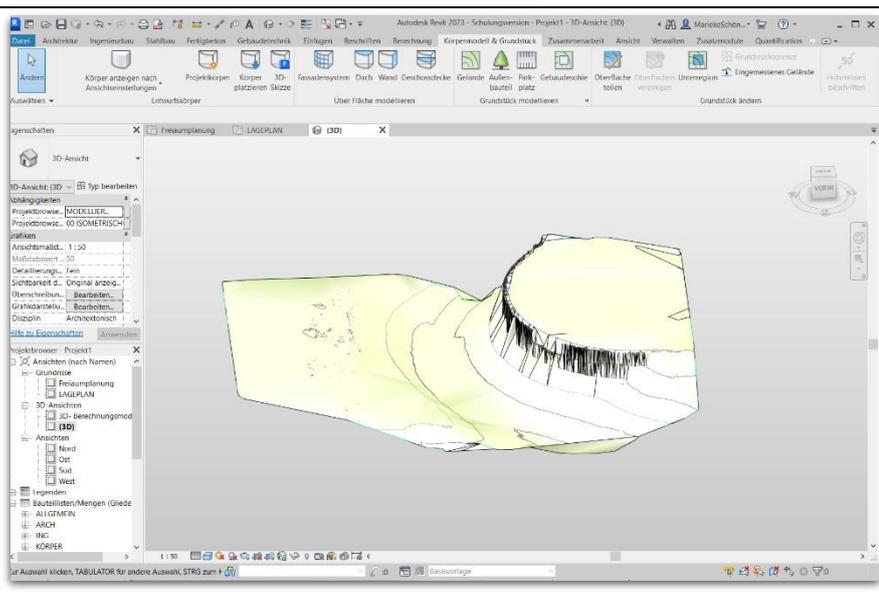


20) Grundstückseinstellungen anpassen

Intervall *deaktivieren*, zusätzliche Höhenlinien *löschen* und mit **OK** bestätigen



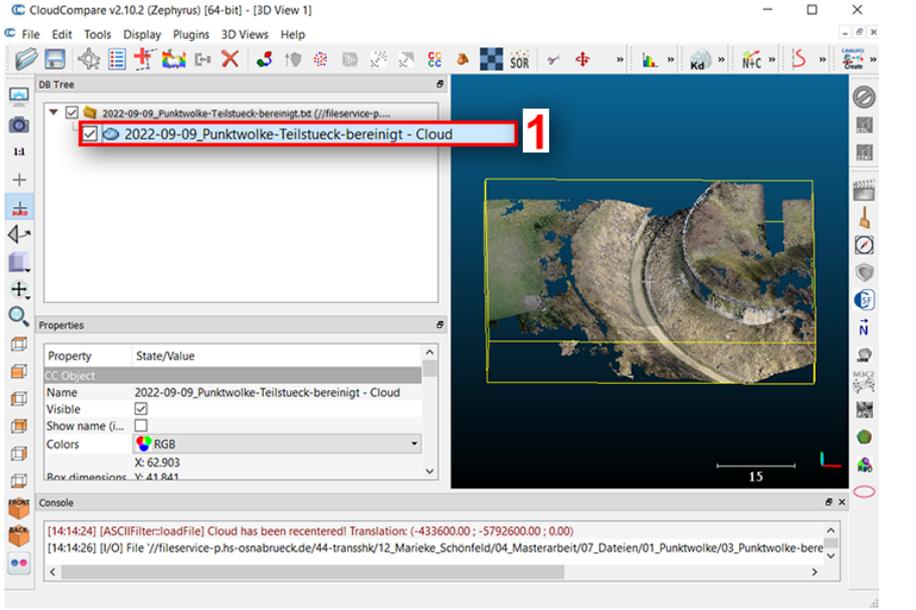
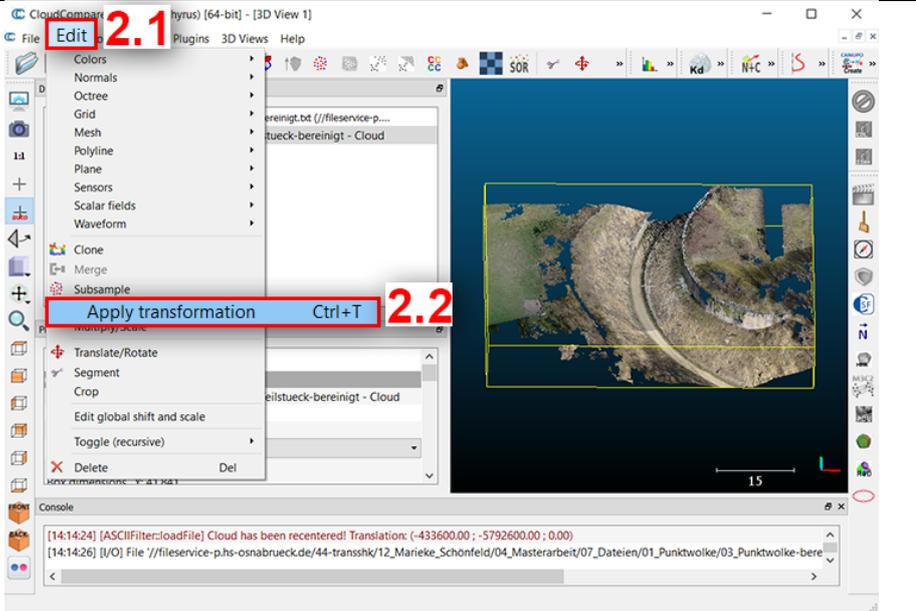
21) Ergebnis



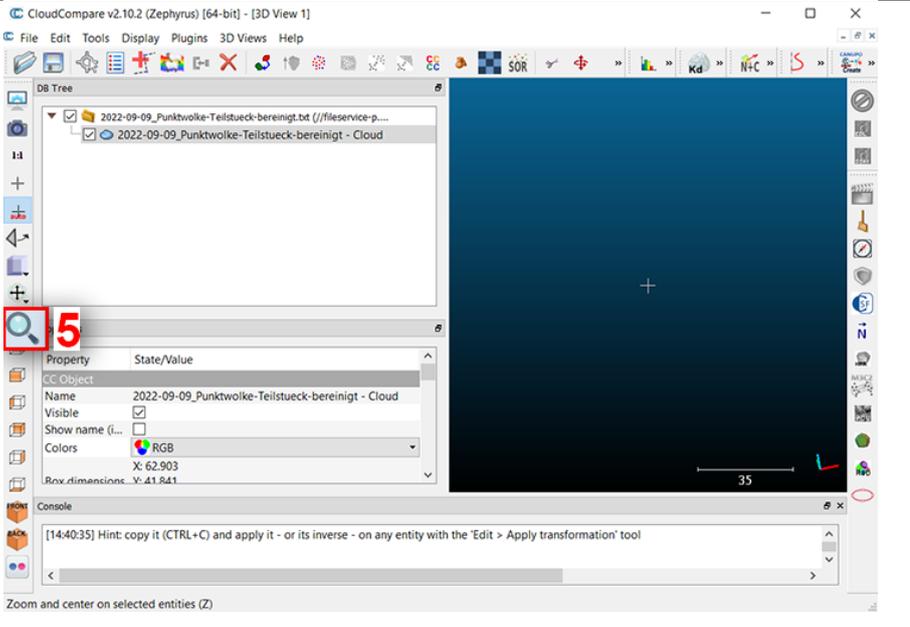
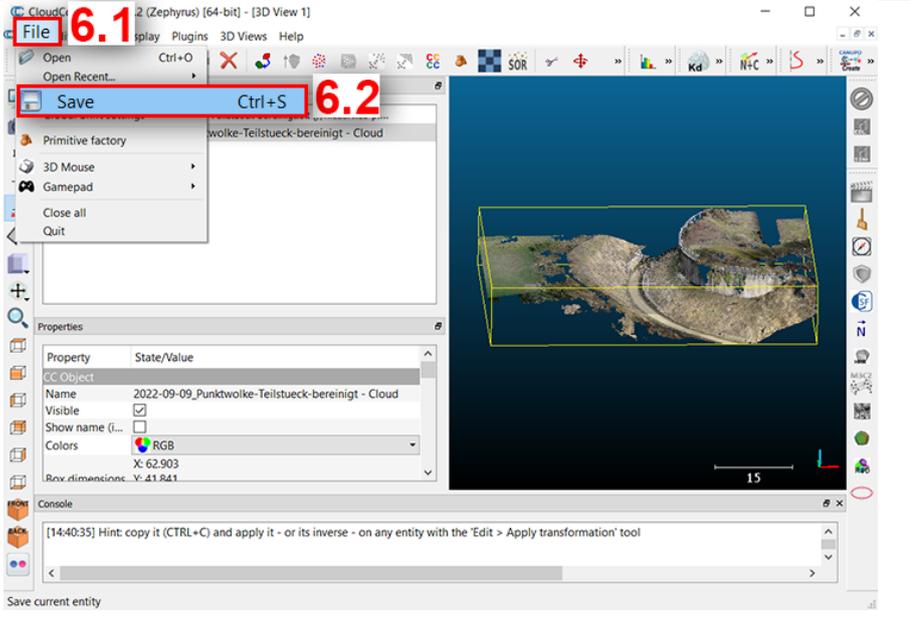
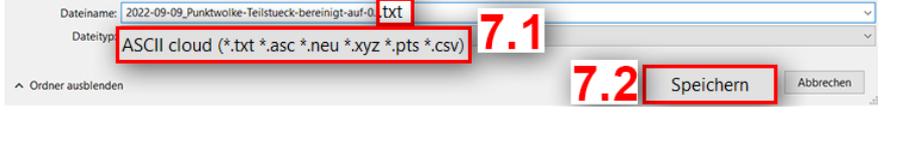
4.4 Workflow: Geländemodell – ‚Punktdatei angeben‘

4.4.1 Verschieben der Punktdatei in CloudCompare

Tabelle 16: Verschieben der Punktdatei in CloudCompare. EIGENE DARSTELLUNG.

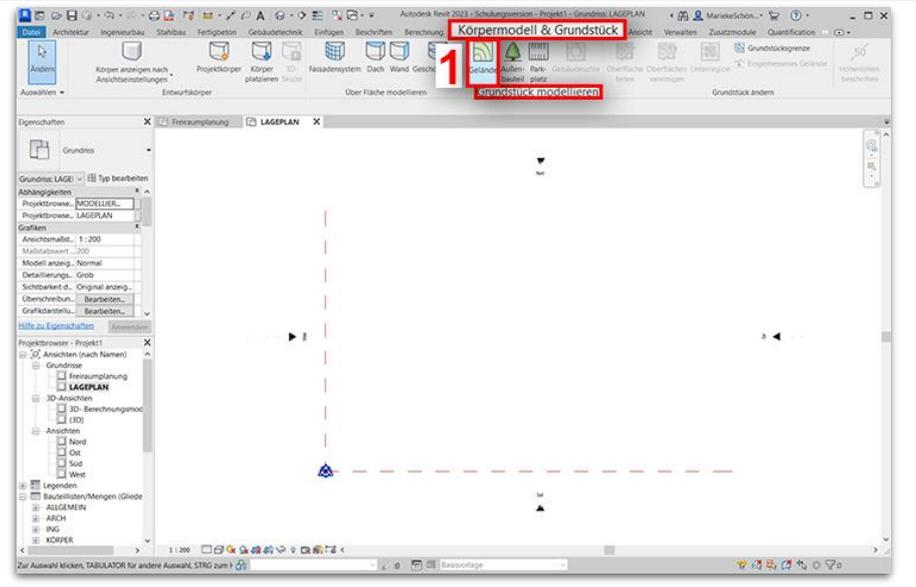
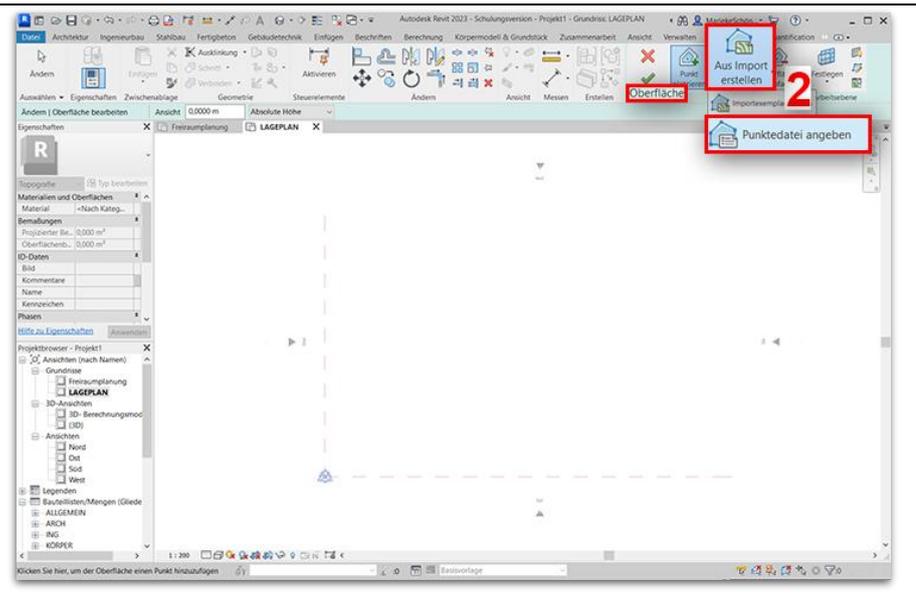
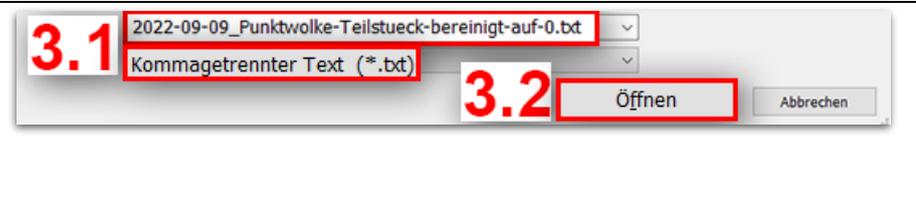
<p>1) Punktdatei auswählen</p> <p>Über einen Klick die Punktdatei <i>anwählen</i></p>	
<p>2) Apply transformation auswählen</p> <p>Über den Reiter Edit den Befehl Apply transformation <i>anwählen</i></p>	

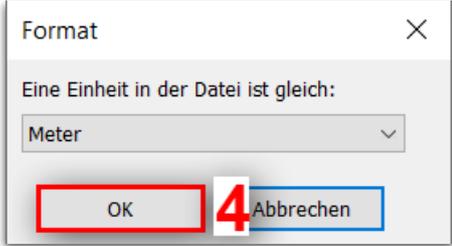
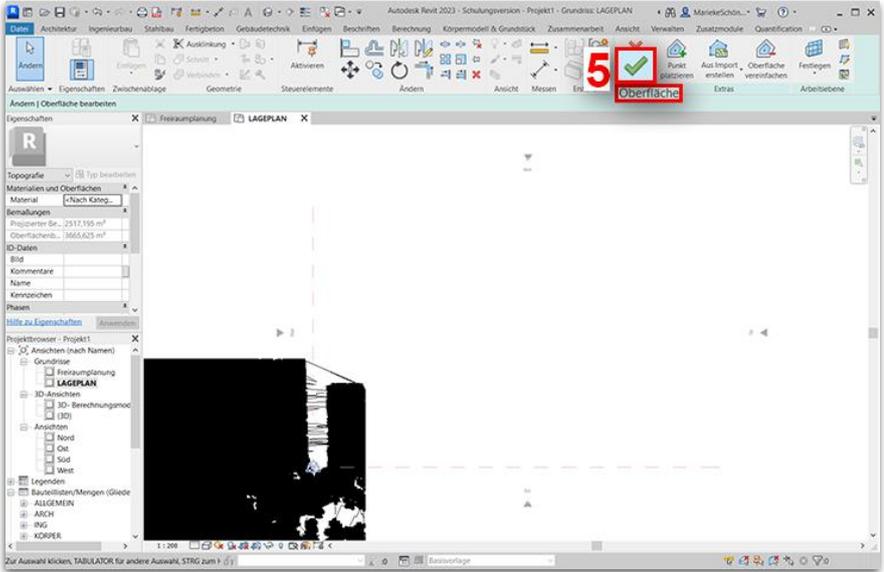
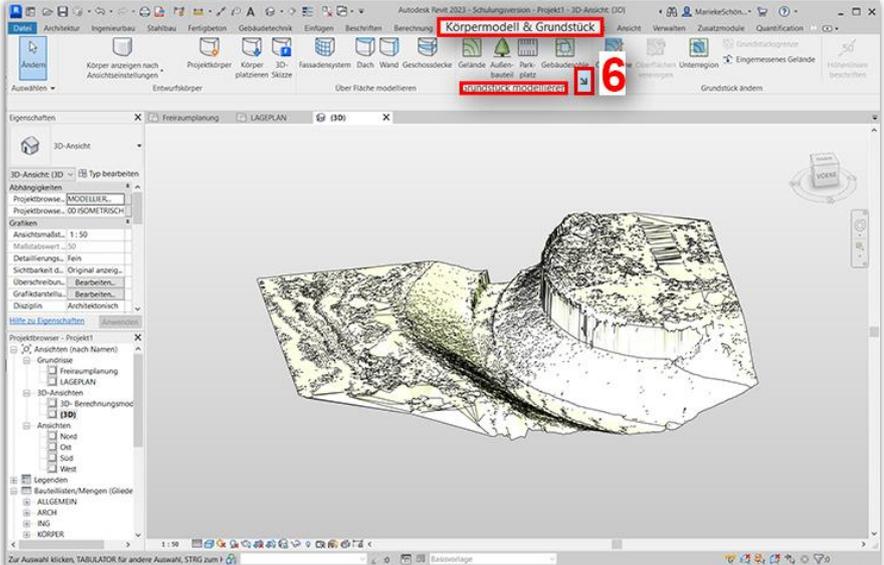
<p>3) Koordinaten angeben</p> <p>In der Matrix die negativen Koordinatenwerte des Projekt-Basispunkts für x-, y- und z-Wert <i>angeben</i> und mit OK bestätigen</p>	<p>Apply transformation</p> <p>Matrix 4x4 3.1 Euler angles</p> <p>Enter 4x4 matrix values: ASCII file clipboard dip / dip direction help</p> <pre> 1.000000000000 0.000000000000 0.000000000000 -433746.7480 0.000000000000 1.000000000000 0.000000000000 -5792641.8610 0.000000000000 0.000000000000 1.000000000000 -106.4959 0.000000000000 0.000000000000 0.000000000000 1.000000000000 </pre> <p>3.2</p> <p><input type="checkbox"/> Apply inverse transformation</p> <p>Reset 3.3 OK Cancel</p>
<p>4) Global shift/scale bestätigen</p> <p>Global shift/scale mit Yes bestätigen</p>	<p>Global shift/scale</p> <p>Coordinates are too big (original precision may be lost)! ?</p> <p>Do you wish to translate/rescale the entity?</p> <p><i>shift/scale information is stored and used to restore the original coordinates at export time</i></p> <p>Point in original coordinate system (on disk)</p> <p>x = -23.336506 y = -3.706500 z = -4.907906</p> <p>diagonal = 76.494812</p> <p>+ Shift Suggested</p> <p>0.00 0.00 0.00</p> <p>x Scale 1.000000000</p> <p>Point in local coordinate system</p> <p>x = -23.336506 y = -3.706500 z = -4.907906</p> <p>diagonal = 76.494812</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Preserve global shift on save</p> <p>4 Yes No Cancel</p>

<p>5) Zoom auf Punkt- wolke</p> <p>Über den Befehl Zoom auf die verschobene Punkt- wolke <i>zoomen</i></p>	
<p>6) Datei speichern</p> <p>Über den Reiter File und den Befehl Save die Datei <i>abspeichern</i></p>	
<p>7) Ergebnis</p> <p>Datei als .txt <i>abspeichern</i></p>	

4.4.2 Punktedatei angeben

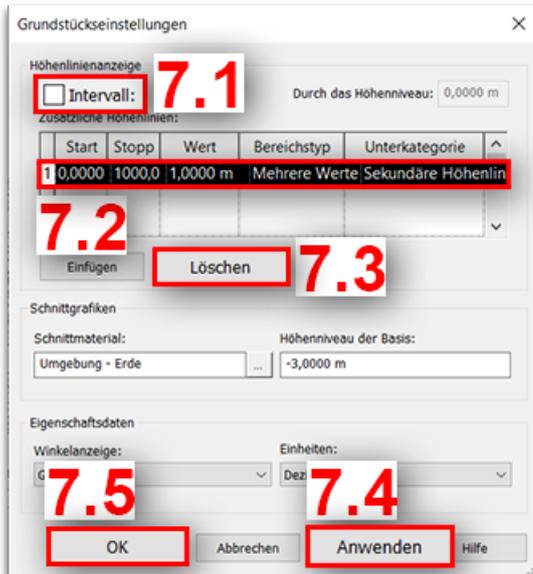
Tabelle 17: Punktedatei angeben. *Eigene Darstellung.*

<p>1) Befehl Gelände aufrufen</p> <p>Über den Reiter Körpermodell & Grundstück modellieren den Befehl Gelände aufrufen</p>	
<p>2) Punktedatei angeben</p> <p>In der Gruppe Oberfläche über Aus Import erstellen den Befehl Punktedatei angeben auswählen</p>	
<p>3) Ergebnis</p> <p>Punktedatei auswählen und mit Öffnen bestätigen</p>	

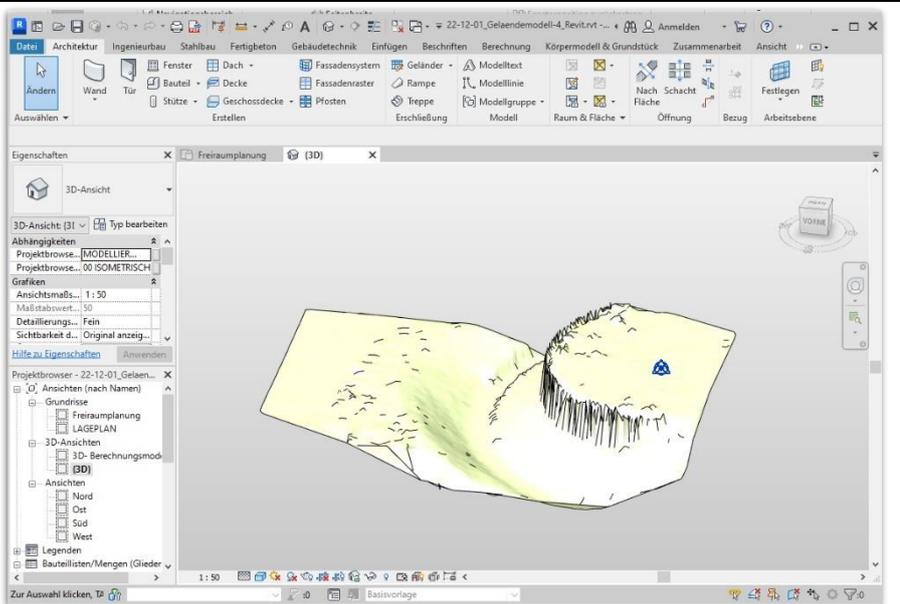
<p>4) Einheit angeben</p> <p>Einheit in Meter angeben und mit OK bestätigen</p>	
<p>5) Gelände bestätigen</p> <p>Die Erstellung des Geländes mit grünem Haken bestätigen</p>	
<p>6) Grundstückseinstellungen öffnen</p> <p>Über den Reiter Körpermodell & Grundstück in der Gruppe Grundstück modellieren die Grundstückseinstellungen öffnen</p>	

7) Grundstückseinstellungen anpassen

Intervall *deaktivieren*,
zusätzliche Höhenlinien *löschen* und mit
OK *bestätigen*



8) Ergebnis



4.5 Workflow: Geländemodell aus Autodesk Revit als DWG exportieren

Tabelle 18: Workflow: Geländemodell aus Autodesk Revit als DWG exportieren. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Geländemodell als DWG exportieren</p> <p>Über den Reiter Datei über Exportieren, den Befehl DWG auswählen</p>							
<p>2) Exporteinrichtung bearbeiten</p> <p>Exporteinrichtung bearbeiten <i>anwählen</i></p>	<table border="1" data-bbox="922 1240 1347 1608"> <thead> <tr> <th>Einschließen</th> <th>Typ</th> <th>Name</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td>3D-Ansicht: {3D}</td> </tr> </tbody> </table>	Einschließen	Typ	Name	<input checked="" type="checkbox"/>		3D-Ansicht: {3D}
Einschließen	Typ	Name					
<input checked="" type="checkbox"/>		3D-Ansicht: {3D}					

3) Exporteinrichtung ändern

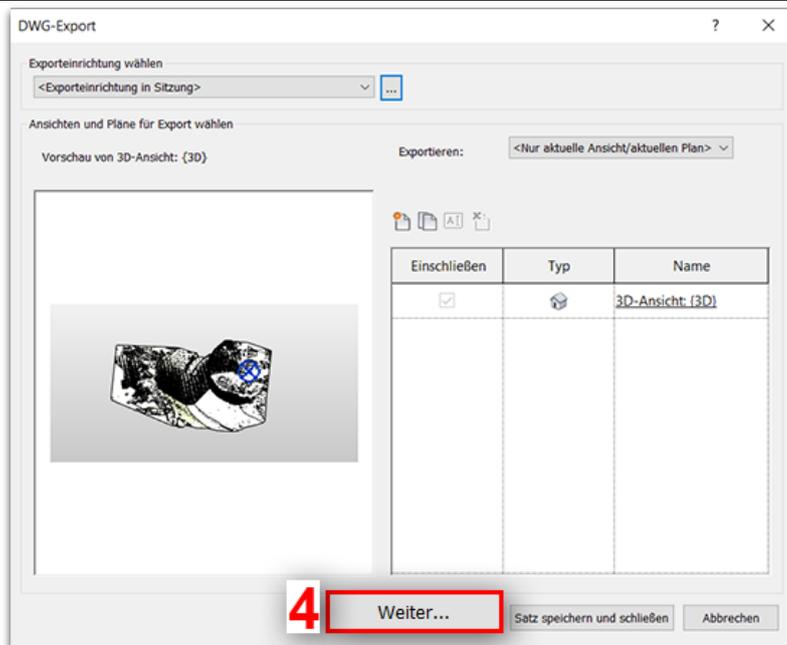
Achtung! eventuell muss der Zuschneidebereich vorher verkleinert werden

Über den Reiter **Einheiten und Koordinaten** die **Einheit** auf ‚Meter‘ und die **Koordinatenbasis** auf ‚Gemeinsam genutzte Koordinaten‘ ändern, abschließend mit **OK** bestätigen



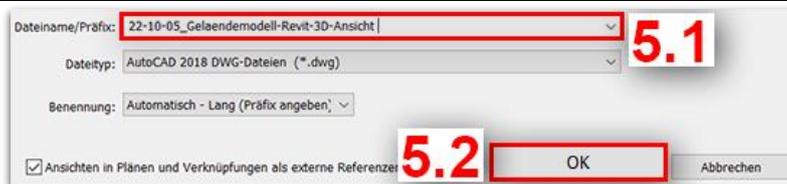
4) Exporteinrichtung bearbeiten

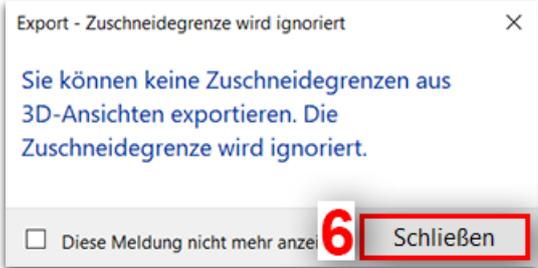
Exporteinrichtung mit **Weiter...** abschließen



5) Datei abspeichern

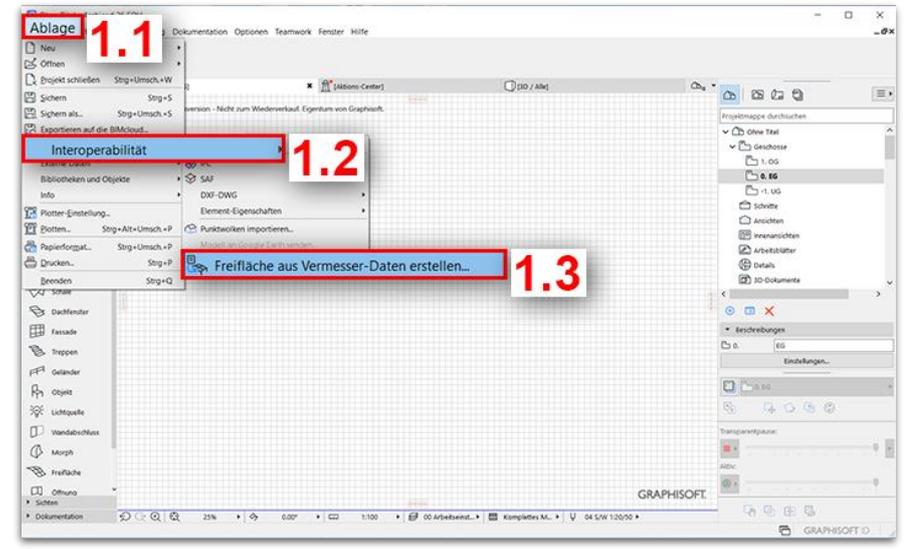
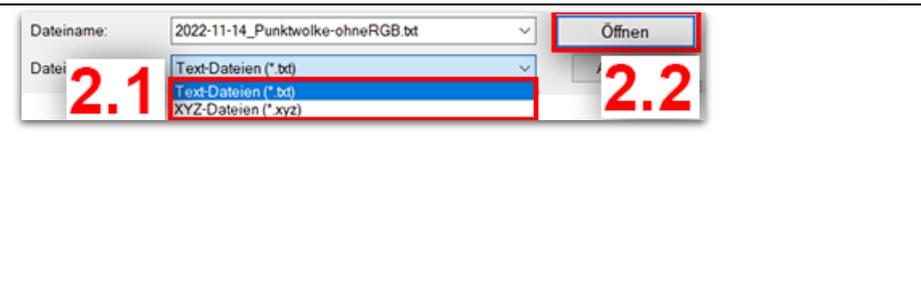
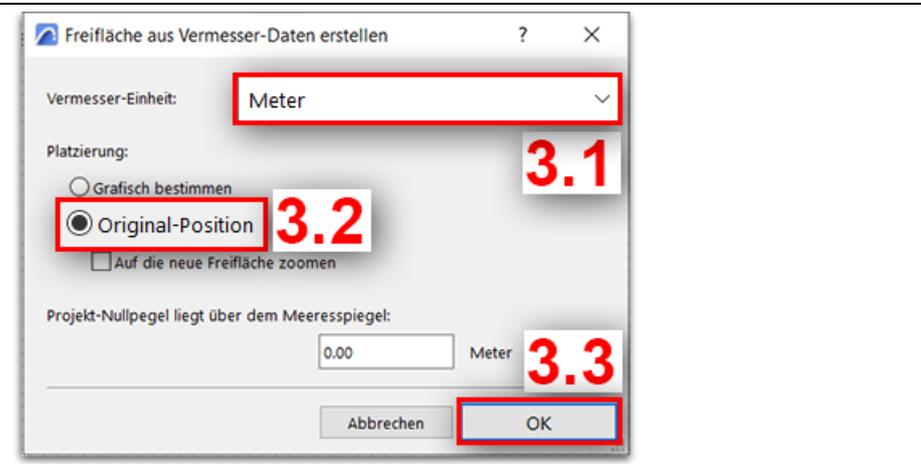
Dateinamen benennen und mit **OK** bestätigen



<p>6) Meldung schließen</p> <p>Meldung über Schließen <i>schließen</i></p>	
--	--

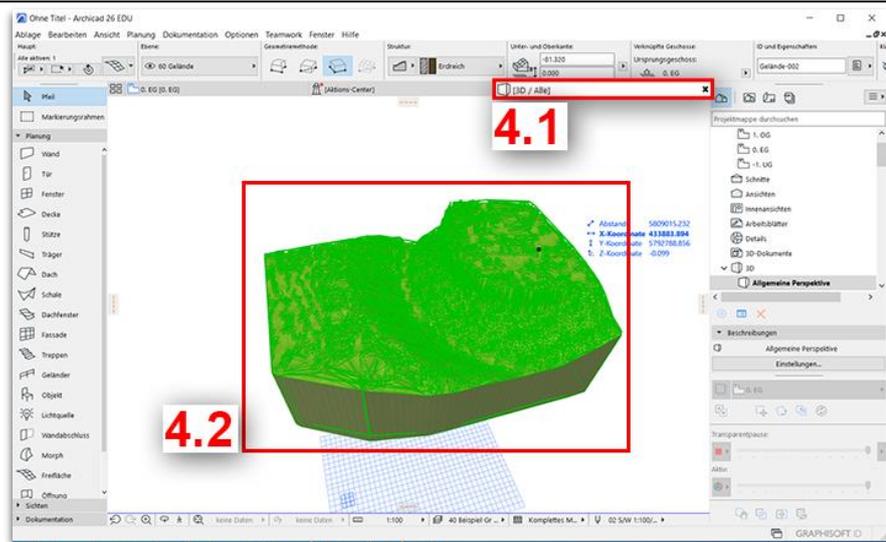
5 WORKFLOW: GELÄNDEMODELL IN GRAPHISOFT ARCHICAD ERSTELLEN

Tabelle 19: Workflow: Geländemodell in Graphisoft ArchiCAD erstellen. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Freifläche erstellen</p> <p>Über den Reiter Ablage und Interoperabilität den Befehl Freifläche aus Vermesser-Daten erstellen... auswählen</p>	
<p>2) Punktedatei auswählen</p> <p>Punktedatei auswählen und mit Öffnen bestätigen</p>	
<p>3) Einstellungen</p> <p>Einheit Meter angeben und Original-Position auswählen, mit OK bestätigen</p>	

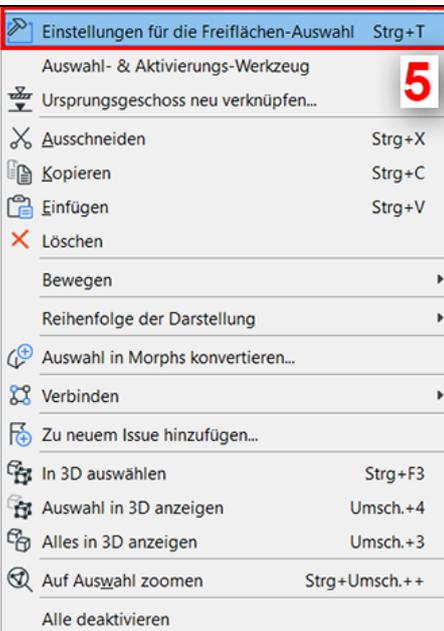
4) Punktedatei auswählen

3D-Ansicht öffnen und das Geländemodell auswählen



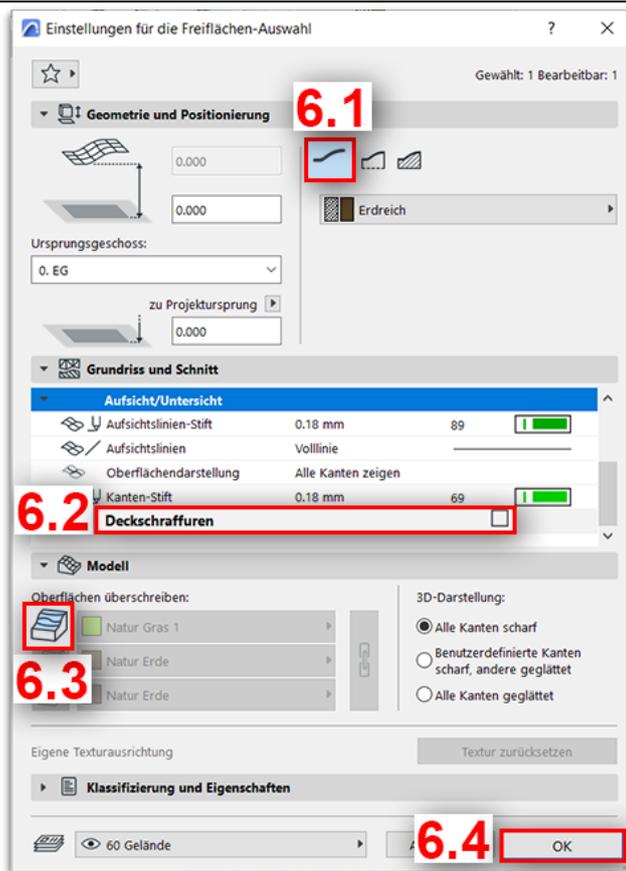
5) Punktedatei auswählen

Einstellungen für die Freilächenauswahl öffnen



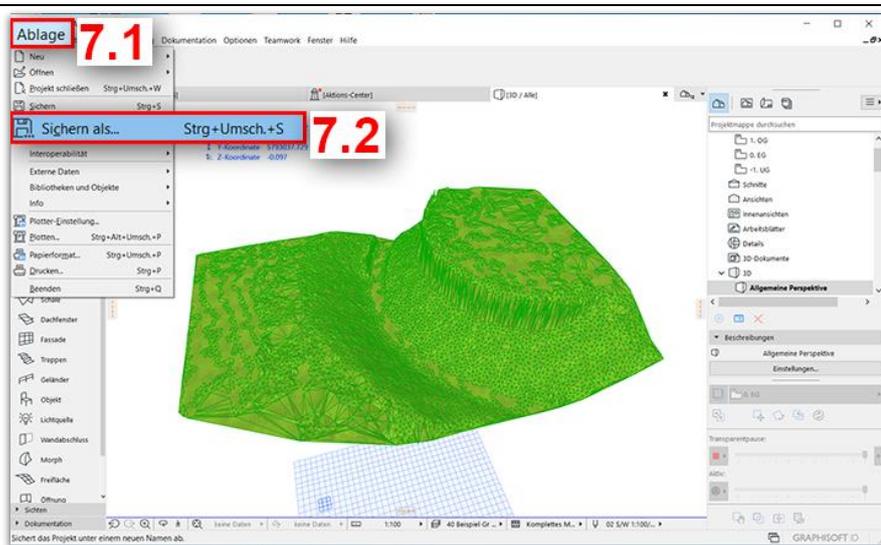
6) Freiflächen Einstellungen

Struktur **Nur Oberfläche** auswählen, bei den Deckschraffuren den **Haken herausnehmen**, **Oberflächen überschreiben ausschalten** und mit **OK bestätigen**



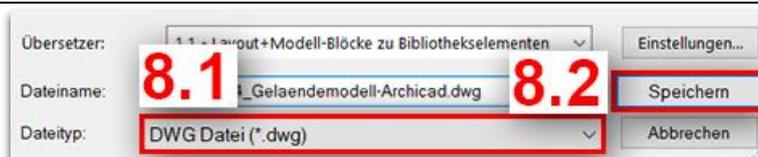
7) Datei speichern

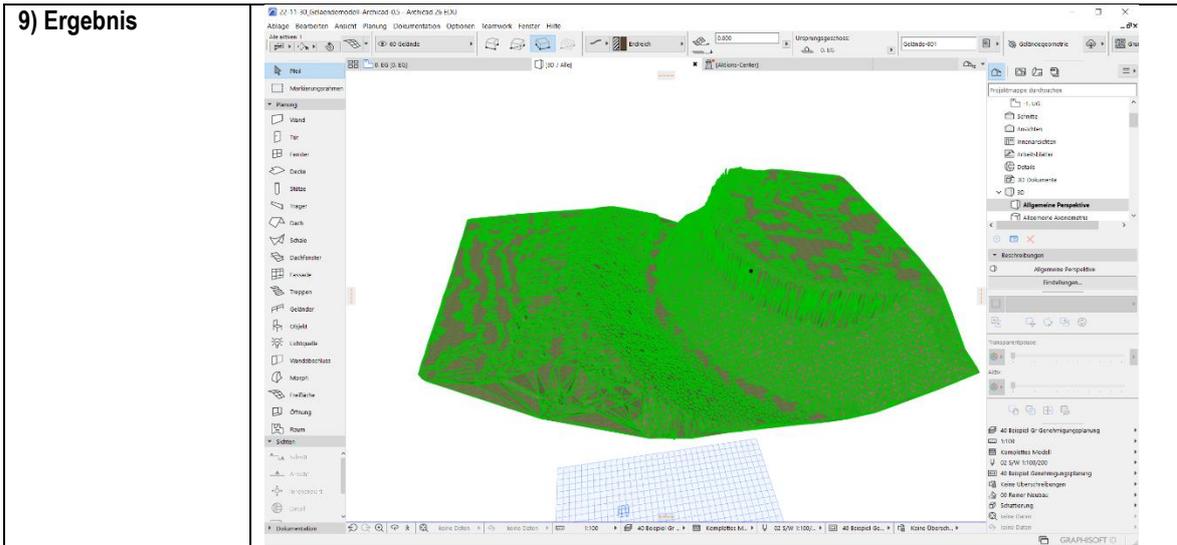
Über den Reiter **Ab-lage** den Befehl **Si-chern als...** auswählen



8) Speichern

Dateinamen vergeben, Typ **DWG-Datei** auswählen und mit **Speichern** bestätigen





6 WORKFLOWS: GELÄNDEMDELLE IN VECTORWORKS ERSTELLEN

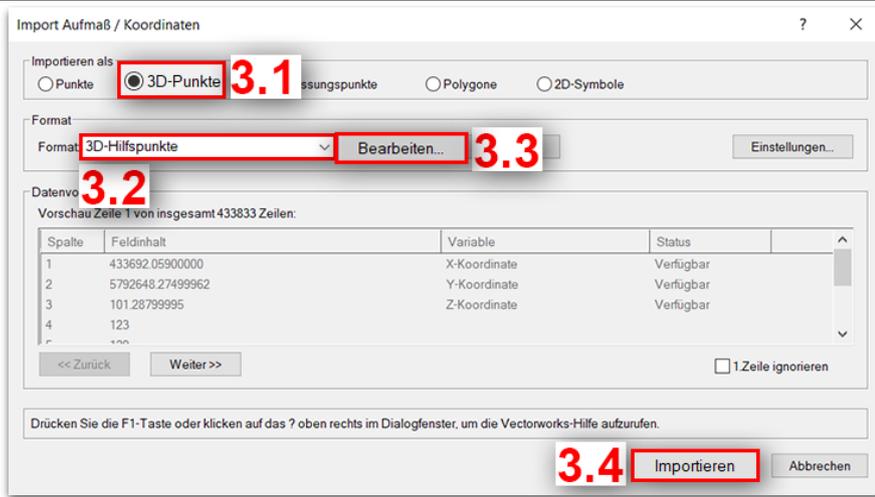
6.1 Workflow: Geländemodell – ‚Import Aufmaß / Koordinaten‘

Tabelle 20: Workflow: Geländemodell – ‚Import Aufmaß / Koordinaten‘. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Punktdatei Import</p> <p>Über den Reiter Datei, Import, den Befehl Import / Aufmaß Koordinaten auswählen</p>	
<p>2) Punktdatei Import</p> <p>Punktdatei anwählen und mit Öffnen bestätigen</p>	

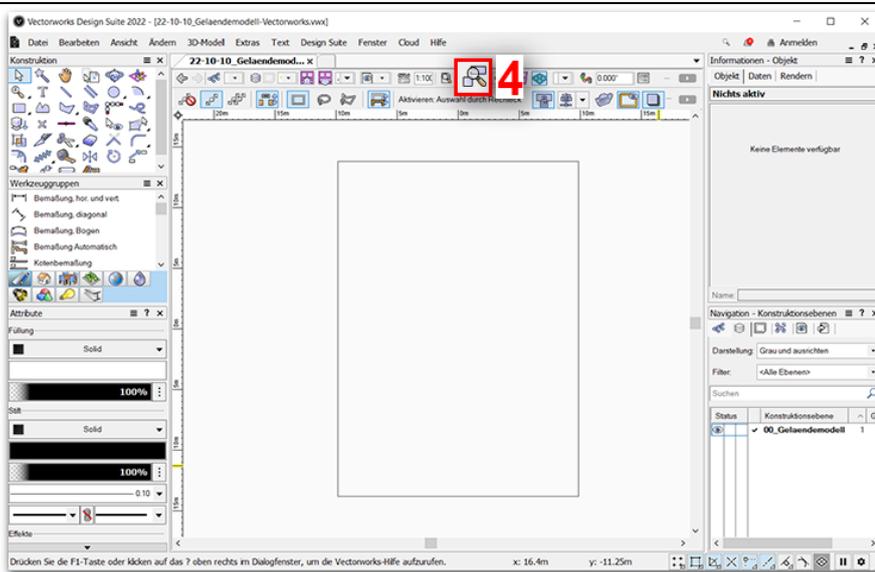
3) Einstellungen

Importieren als **3D-Punkte** anwählen, Format **3D-Hilfspunkte** auswählen und mit **Importieren** bestätigen



4) Zoom auf Objekte

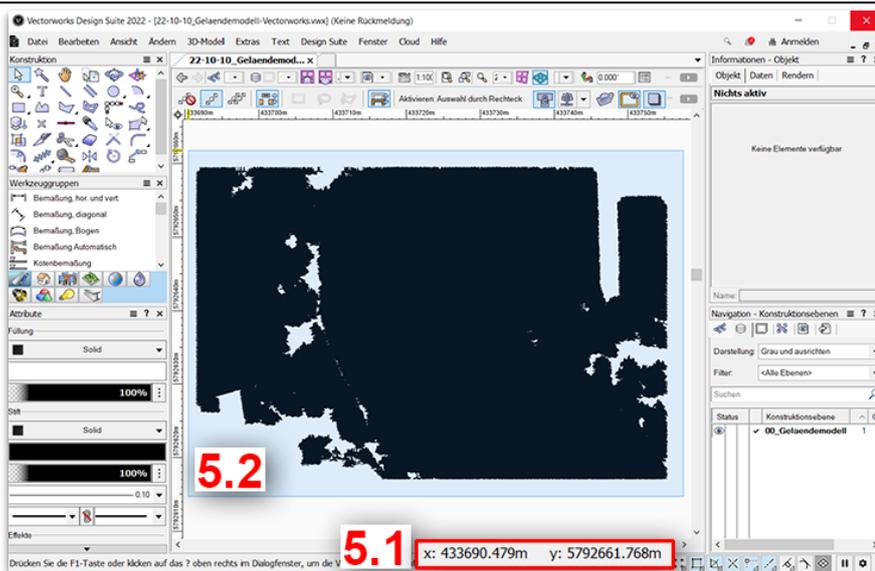
Der Bereich der importierten Punktdaten ist erst zu sehen, wenn der Befehl **Zoom auf Objekte** angewählt wird



5) Zoom auf Objekte

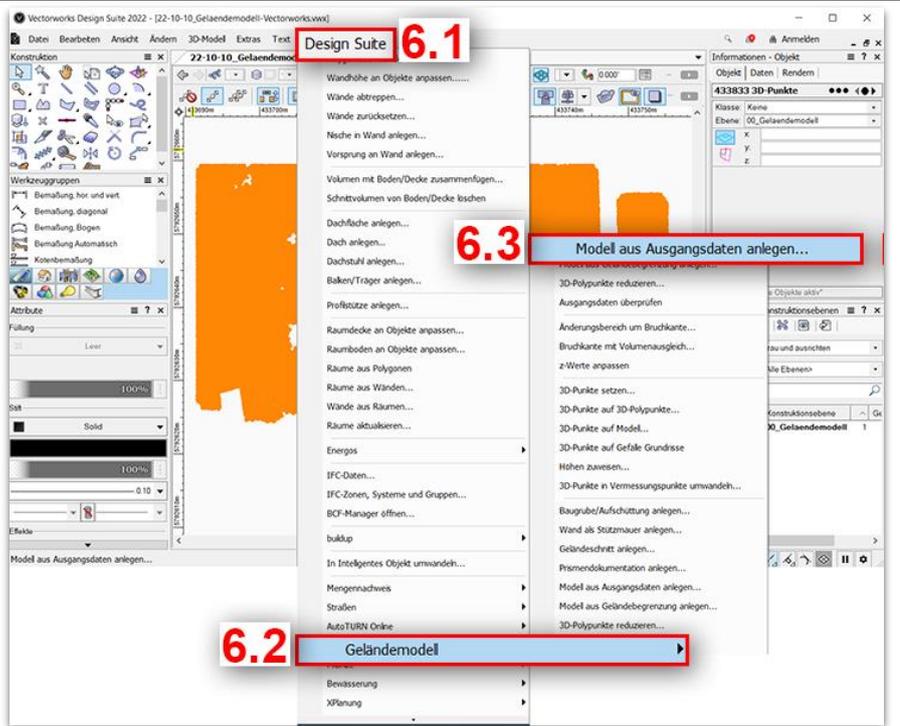
Die x- und y-Koordinaten zeigen an, dass die Punktdaten georeferenziert vorliegt.

Falls die Punkte noch nicht ausgewählt und aktiv sind, können diese über das **Aufziehen** eines **Rechteck** von unten rechts nach oben links **aktiviert** werden



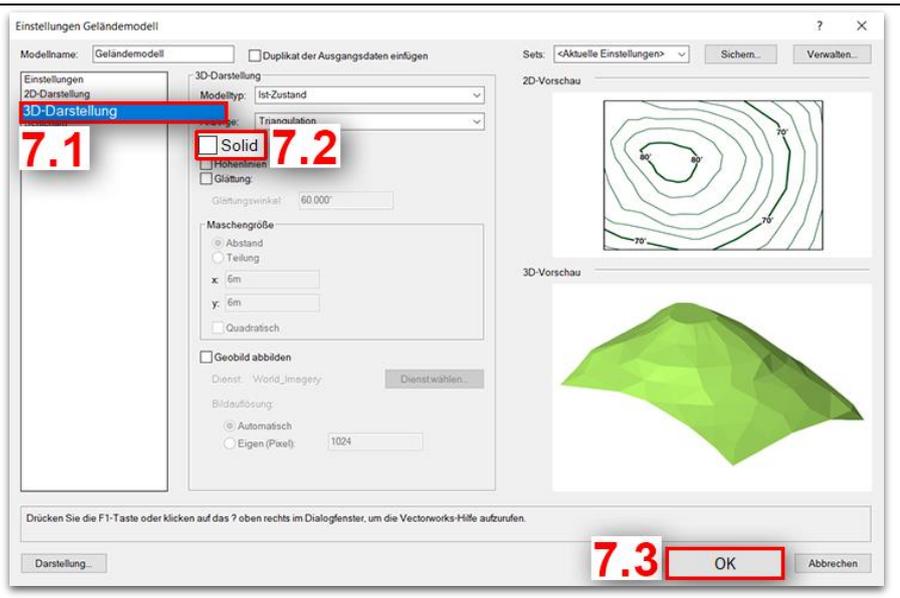
6) Geländemodell erstellen

Über den Reiter **Design Suite** und **Geländemodell** den Befehl **Modell aus Ausgangsdaten anlegen...** auswählen

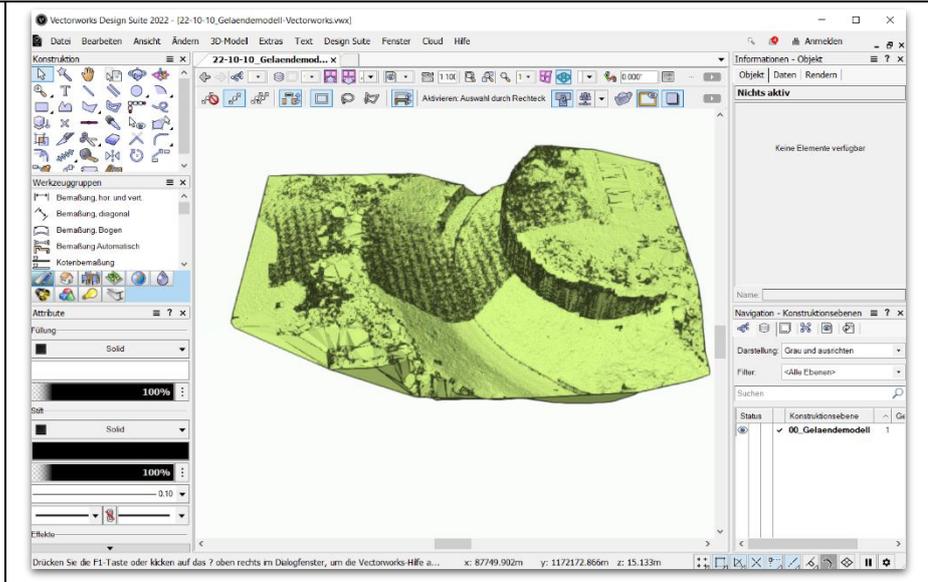


7) Einstellungen Geländemodell

In der Rubrik **3D-Darstellung** den Haken aus **Solid** *wegnehmen*, da nur die Oberfläche des DGMs benötigt wird, abschließend mit **OK** bestätigen



6) Ergebnis

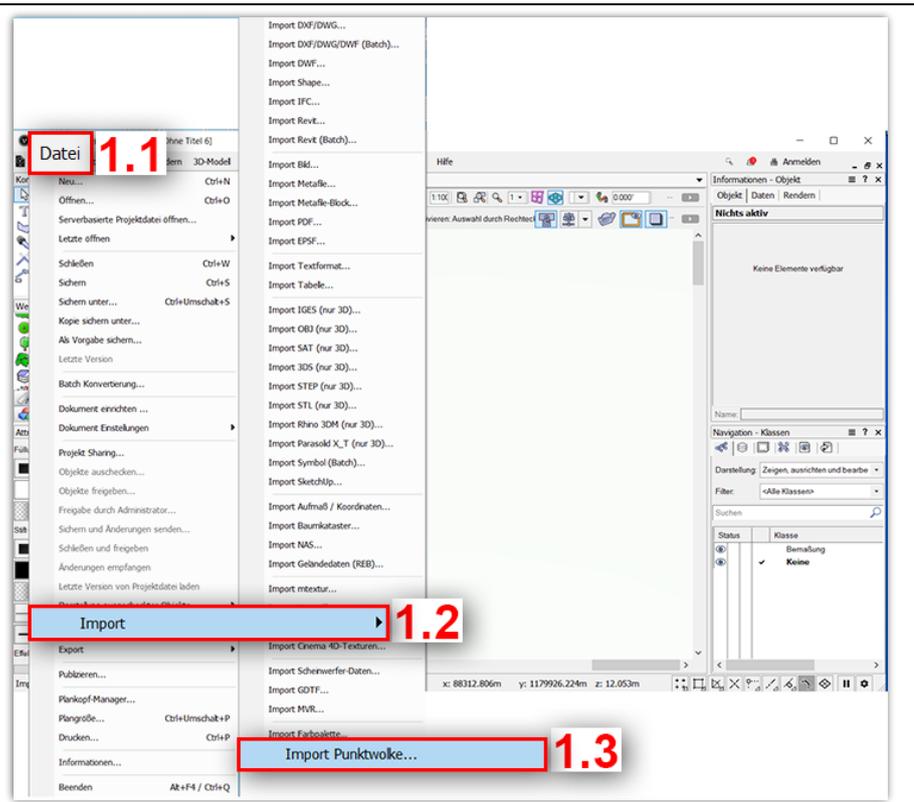


6.2 Workflow: Geländemodell – ‚Import Punktwolke‘

Tabelle 21: Workflow: Geländemodell – ‚Import Punktwolke‘. EIGENE DARSTELLUNG.

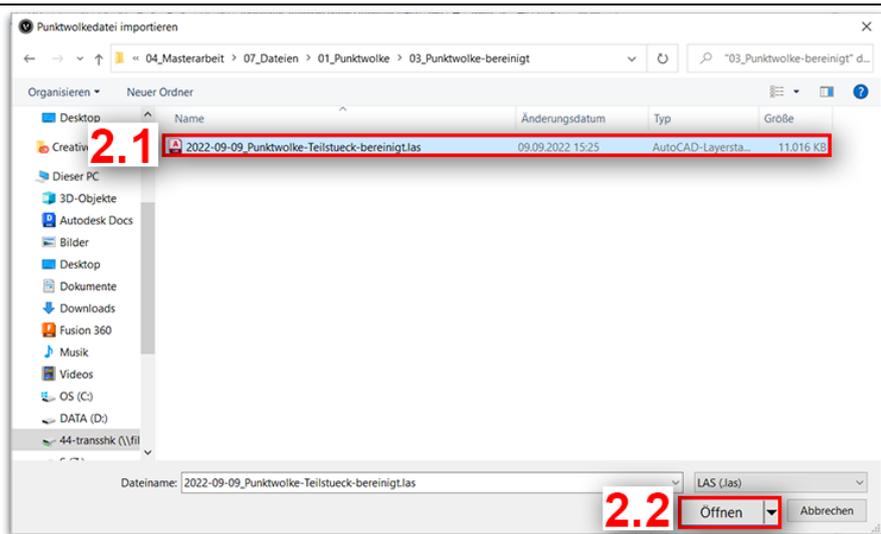
1) Punktwolke Import

Über den Reiter **Datei**, **Import**, den Befehl **Import Punktwolke...** auswählen



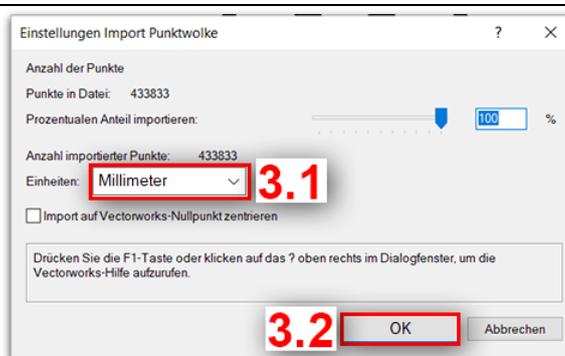
2) Punktwolke auswählen

Punktwolke *auswählen* und mit **Öffnen** bestätigen



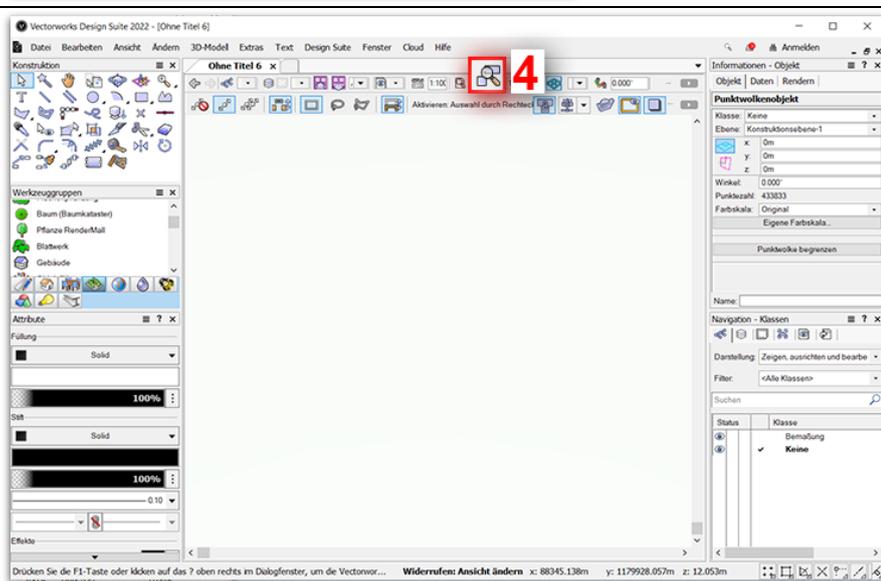
3) Einstellungen

Als Einheit **Millimeter** auswählen und mit **OK** bestätigen



4) Zoom auf Objekte

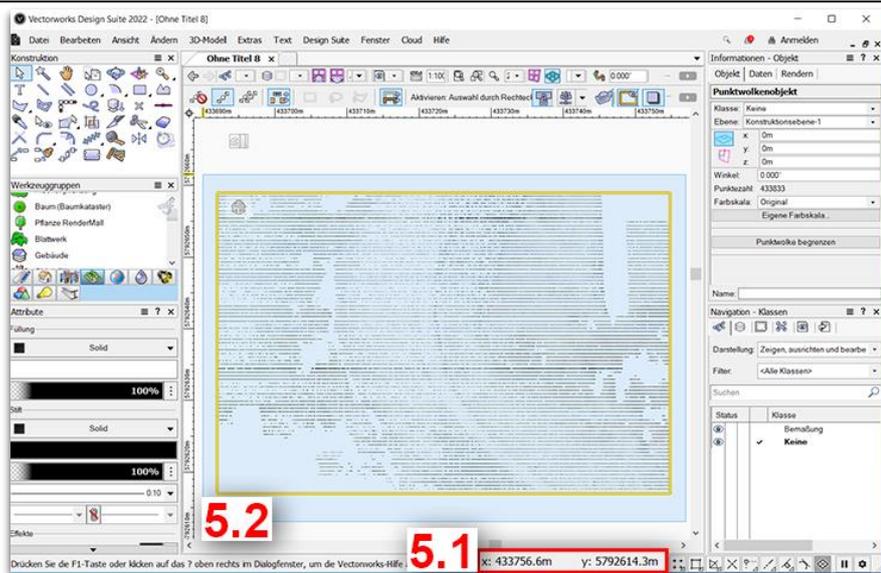
Der Bereich der importierten Punktdaten ist erst zu sehen, wenn der Befehl **Zoom auf Objekte** angewählt wird



5) Zoom auf Objekte

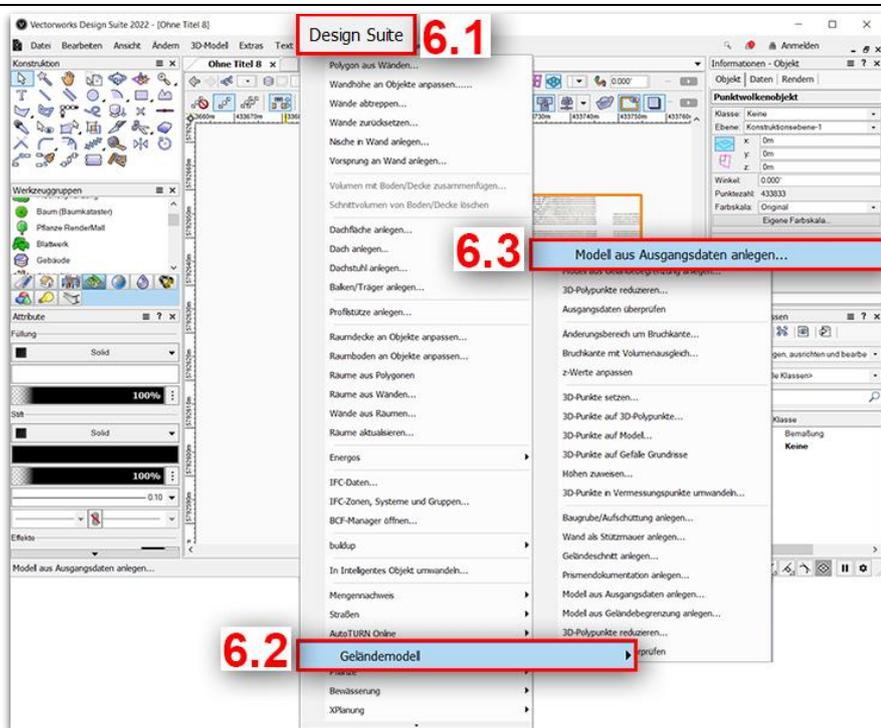
Die x- und y-Koordinaten zeigen an, dass die Punktwolke georeferenziert vorliegt.

Falls die Punktwolke noch nicht ausgewählt und aktiv ist, kann diese über das **Aufziehen** eines **Rechteck** von unten rechts nach oben links **aktiviert** werden



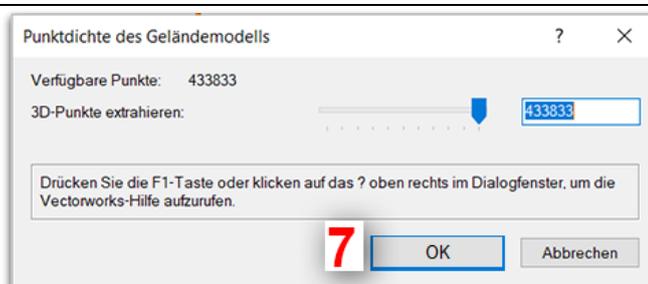
6) Geländemodell erstellen

Über den Reiter **Design Suite** und **Geländemodell** den Befehl **Modell aus Ausgangsdaten anlegen...** auswählen



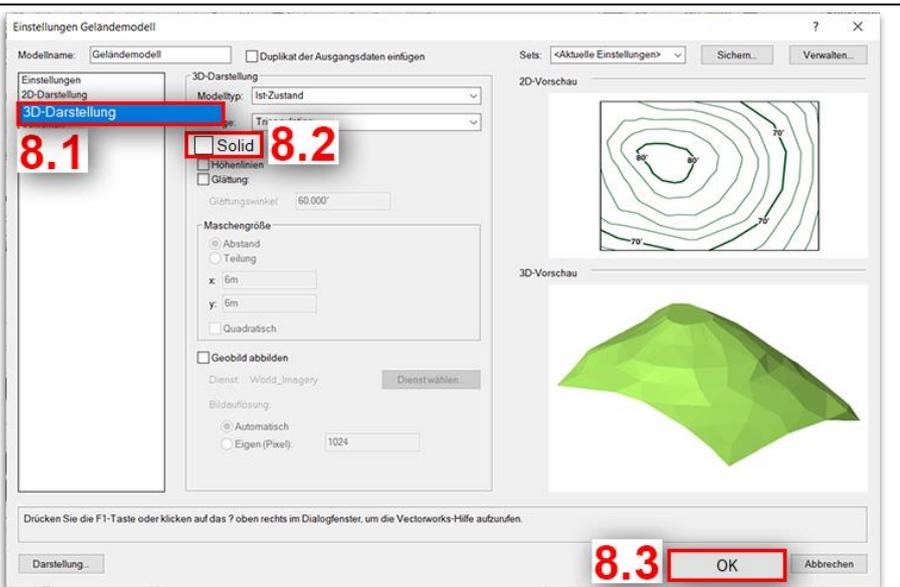
7) Einstellungen Geländemodell

Die Punktdichte unverändert lassen und mit **OK bestätigen**

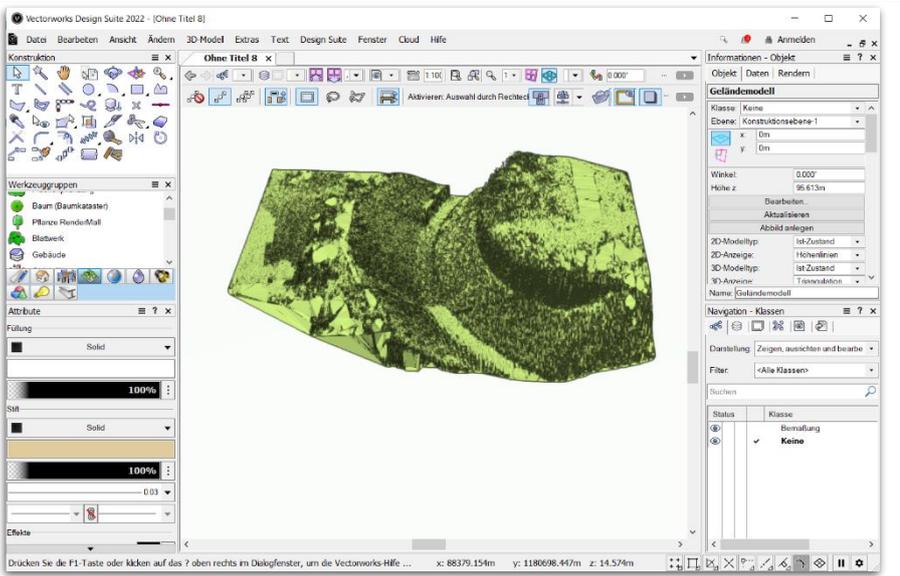


8) Einstellungen Geländemodell

In der Rubrik **3D-Darstellung** den Haken aus **Solid** wegnehmen, da nur die Oberfläche des DGMs benötigt wird, abschließend mit **OK** bestätigen

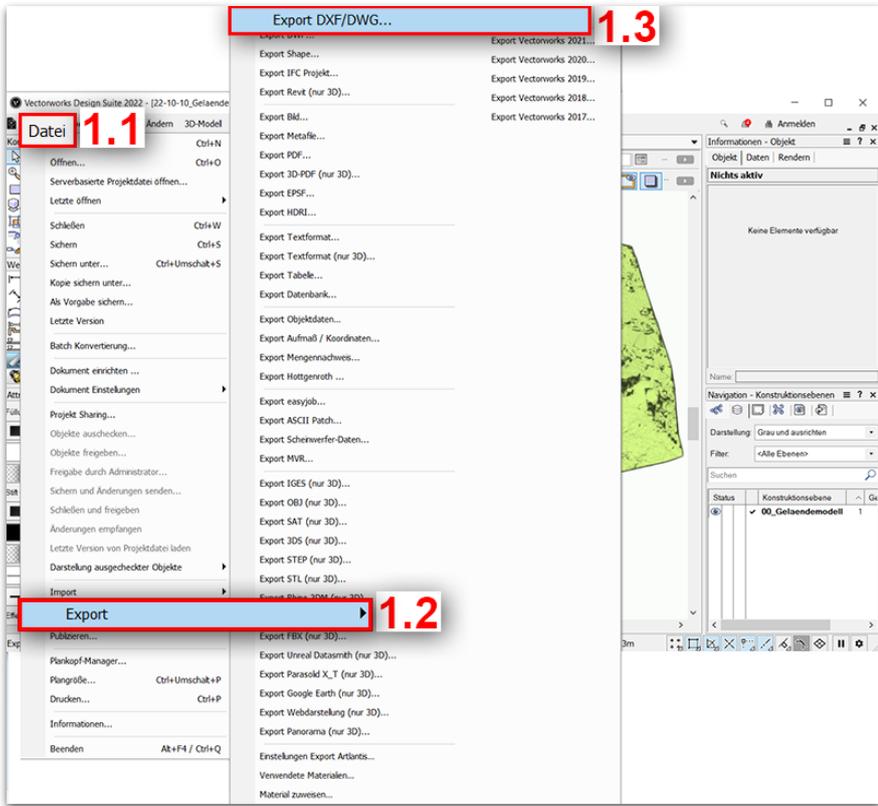
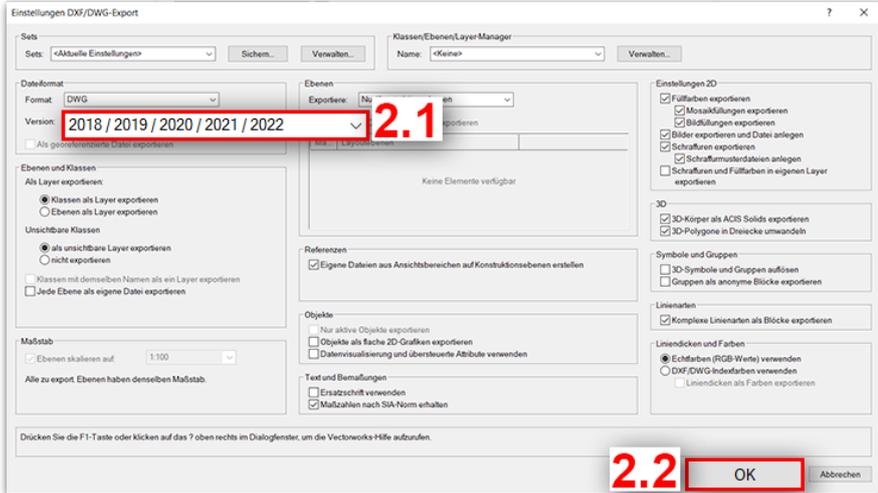


9) Ergebnis



6.3 Workflow: Export eines Geländemodells als DWG-Datei

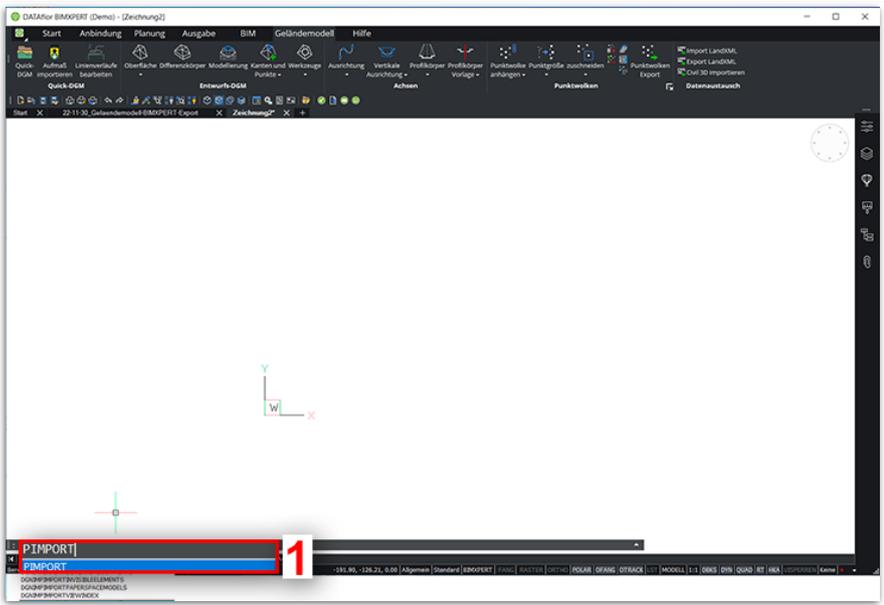
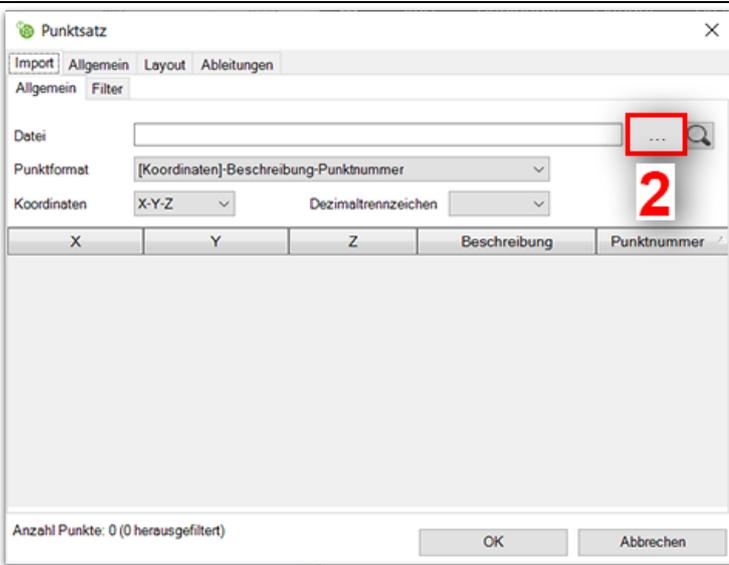
Tabelle 22: Workflow: Export eines Geländemodells als DWG-Datei. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Export DWG</p> <p>Über den Reiter Datei, Export und den Befehl Export DXF/DWG... auswählen</p>	
<p>2) Export Einstellungen</p> <p>Die aktuellste Version 2018 / 2019 / 2020 / 2021 / 2022 auswählen und mit OK bestätigen</p>	
<p>3) DWG speichern</p> <p>Dateinamen <i>vergeben</i> und mit Speichern bestätigen</p>	

7 WORKFLOWS: GELÄNDEMELLE IN DATAFLOR BIMXPRT ERSTELLEN

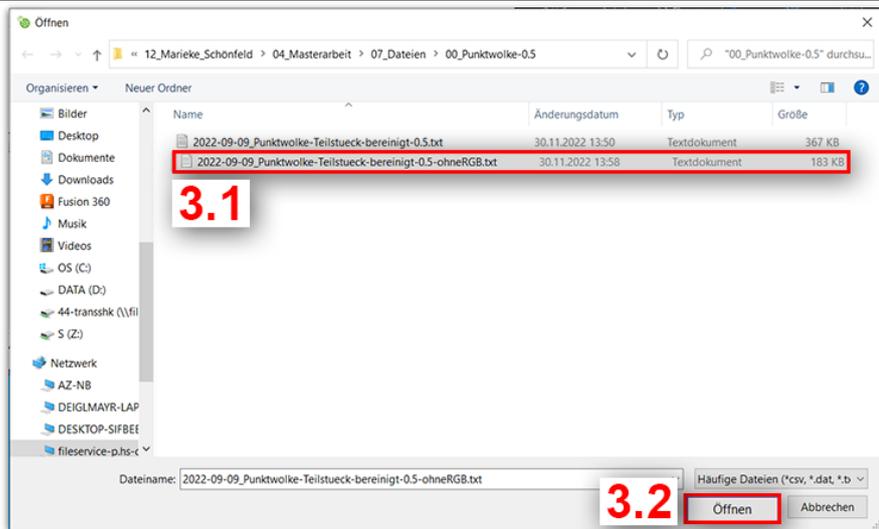
7.1 Workflow: Geländemodell – Quick-DGM

Tabelle 23: Workflow: Geländemodell – Quick-DGM. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Export DWG</p> <p>Über die Befehlszeile den Befehl PIMPORT eingeben und bestätigen</p>	
<p>2) Punktsatz einfügen</p> <p>Über ... die Punkte-datei aufrufen</p>	

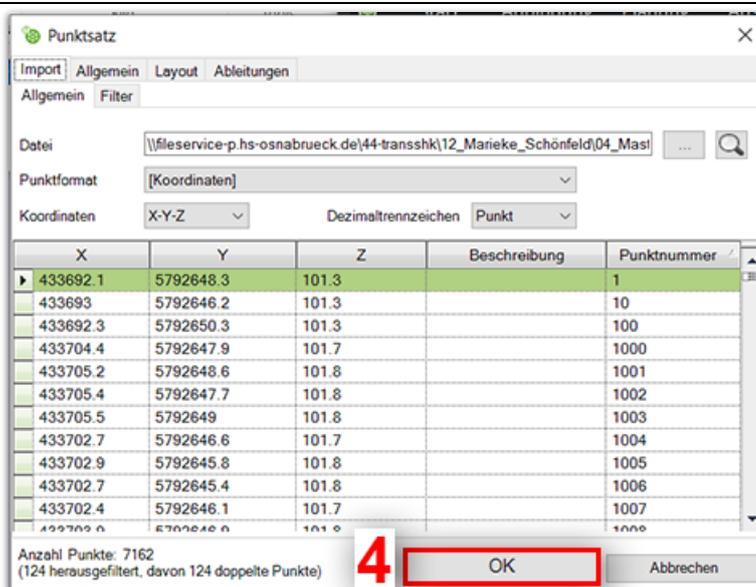
3) Punktedatei auswählen

Punktedatei *auswählen* und mit **Öffnen** bestätigen



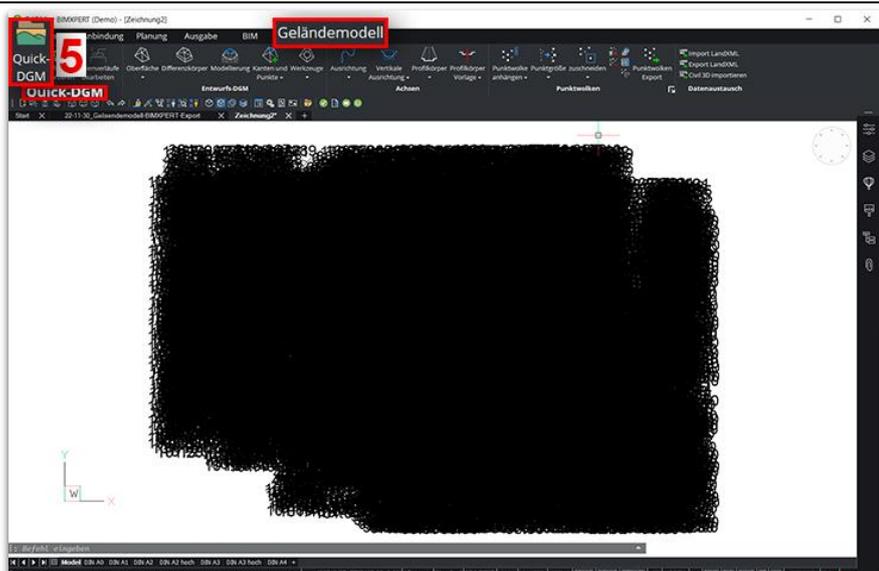
4) Punktsatz überprüfen

Die **Reihenfolge** der Punkte *überprüfen*, ggf. *anpassen* und mit **OK** bestätigen



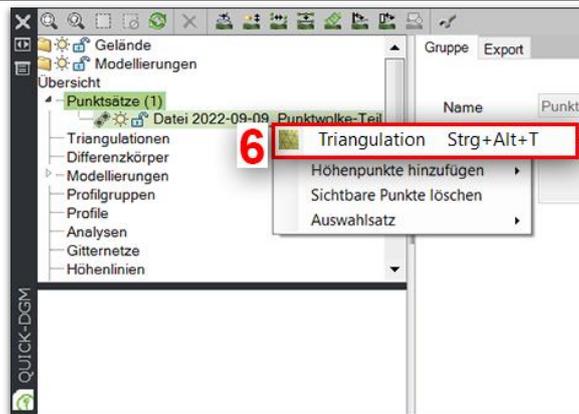
5) Quick-DGM öffnen

Über den Reiter **Geländemodell** in der Gruppe **Quick-DGM** das **Quick-DGM** aufrufen



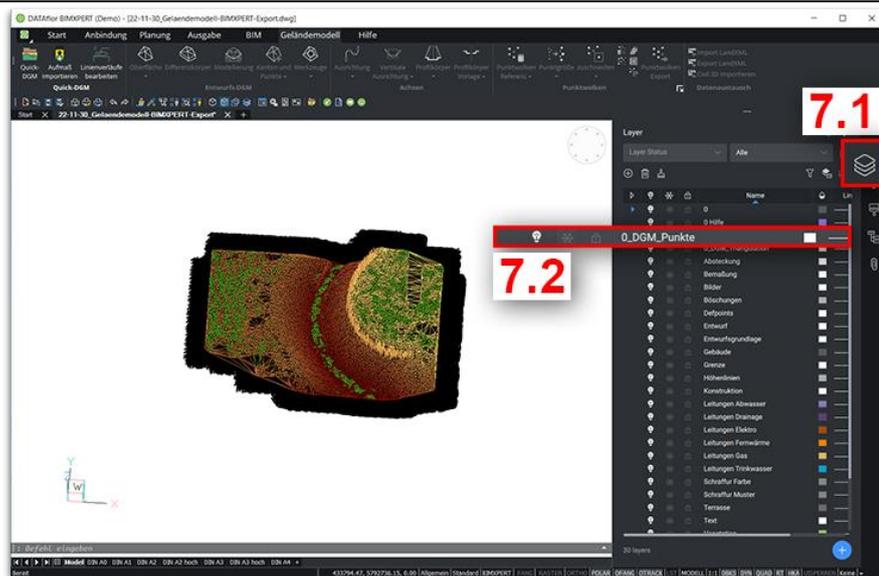
6) Triangulation auswählen

Über einen Rechtsklick auf die Punkte-datei den Befehl *Triangulation auswählen*

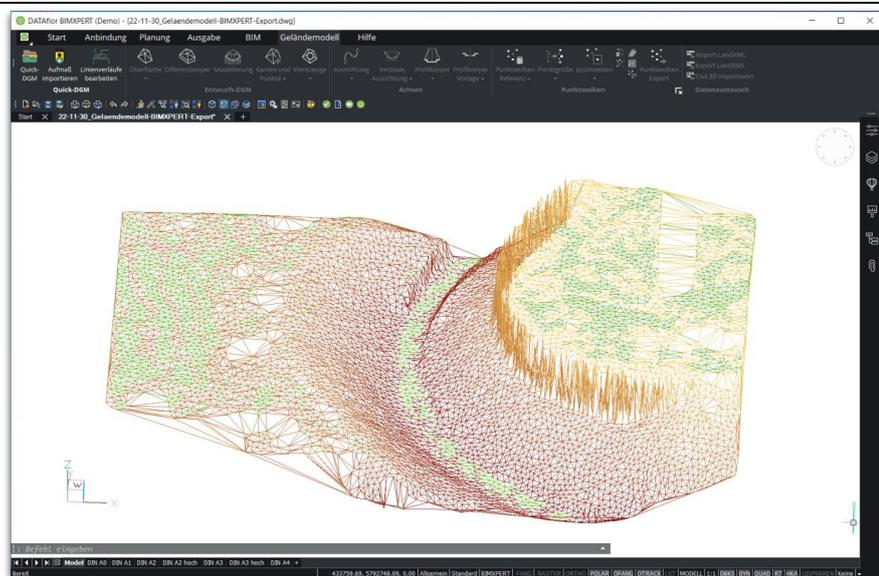


7) Layer ausschalten

In der **Layerübersicht** den Layer **0_DGM_Punkte** ausschalten

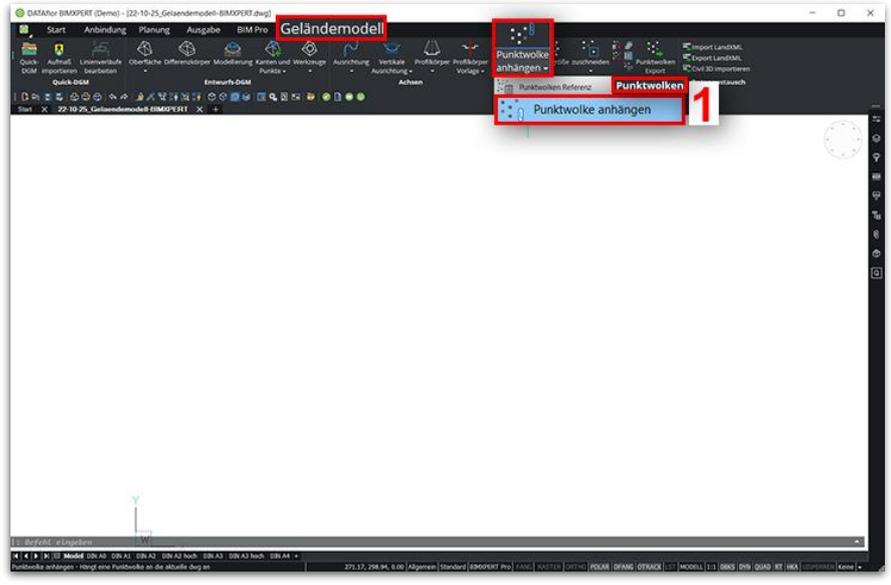
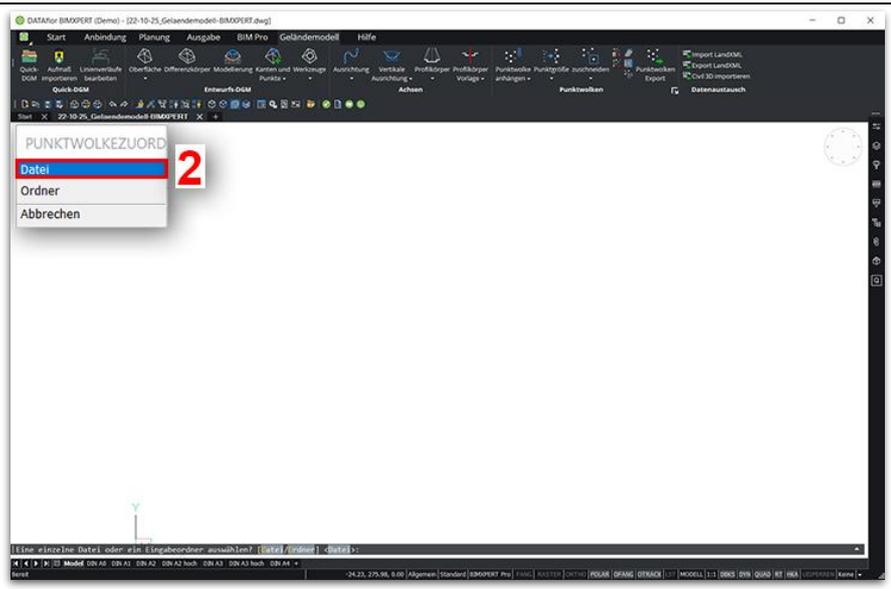


8) Ergebnis



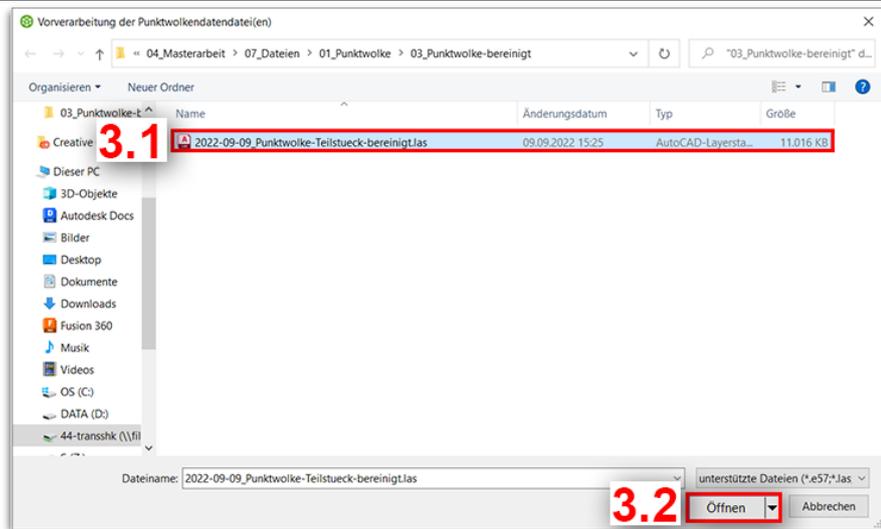
7.2 Workflow: Geländemodell – BricsCAD

Tabelle 24: Workflow: Geländemodell – BricsCAD. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Punktwolke anhängen</p> <p>Über den Reiter Geländemodell in der Gruppe Punktwolken über Punktwolke anhängen den Befehl Punktwolke anhängen auswählen</p>	 <p>The screenshot shows the BricsCAD software interface with the 'Geländemodell' ribbon selected. The 'Punktwolke anhängen' command is highlighted with a red box and the number 1. The interface also shows the 'Punktwolken' group and the 'Punktwolken Referenz' and 'Punktwolken' sub-groups.</p>
<p>2) Punktwolkenzuordnung</p> <p>Datei auswählen</p>	 <p>The screenshot shows the BricsCAD software interface with the 'PUNKTWOLKEZUORD' dialog box open. The 'Datei' option is selected and highlighted with a red box and the number 2. The dialog box also shows 'Ordner' and 'Abbrechen' options.</p>

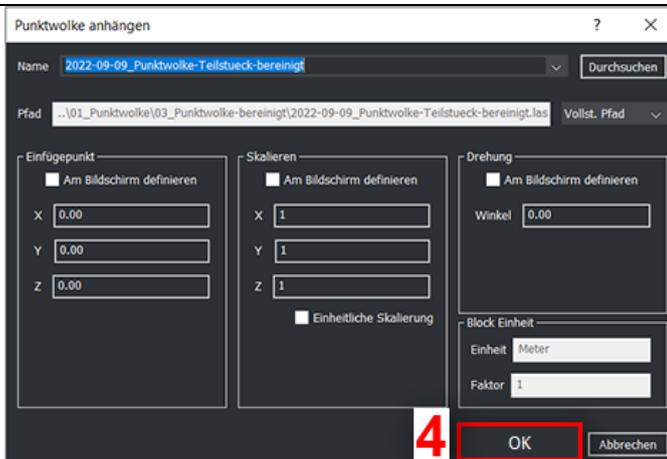
3) Datei auswählen

Datei auswählen und mit Öffnen bestätigen



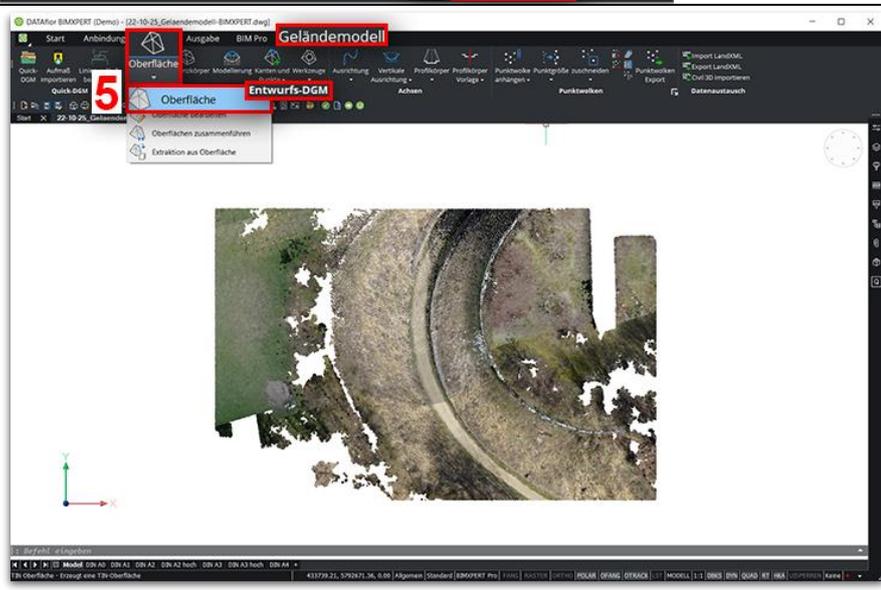
4) Punktwolke anhängen

Voreinstellungen übernehmen und mit OK bestätigen



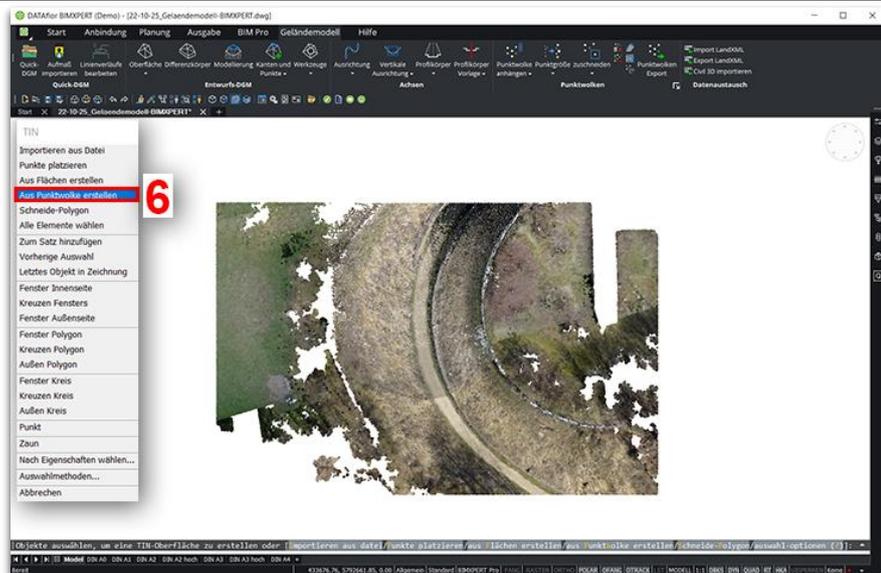
5) Oberfläche erstellen

Über den Reiter Geländemodell in der Gruppe Entwurfs-DGM über Oberfläche den Befehl Oberfläche auswählen



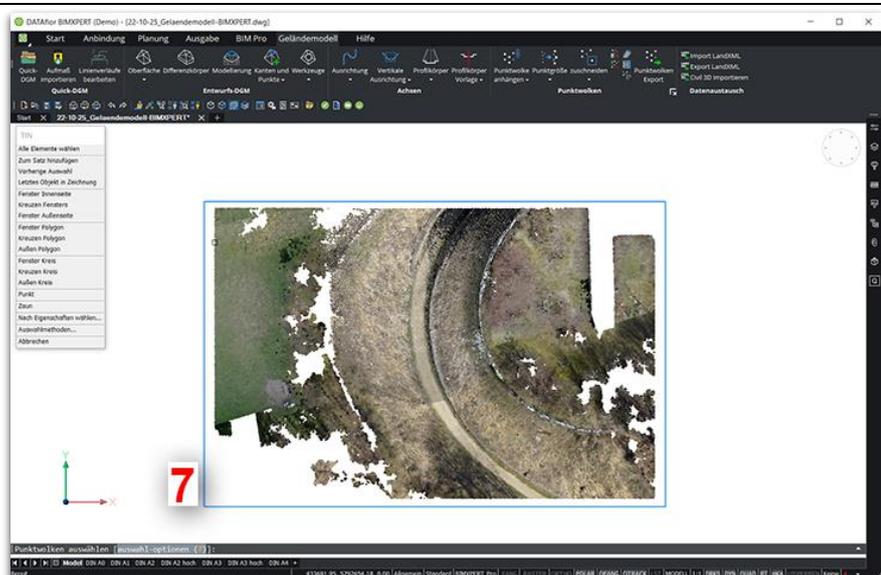
6) Aus Punktwolle erstellen

Aus Punktwolle erstellen auswählen



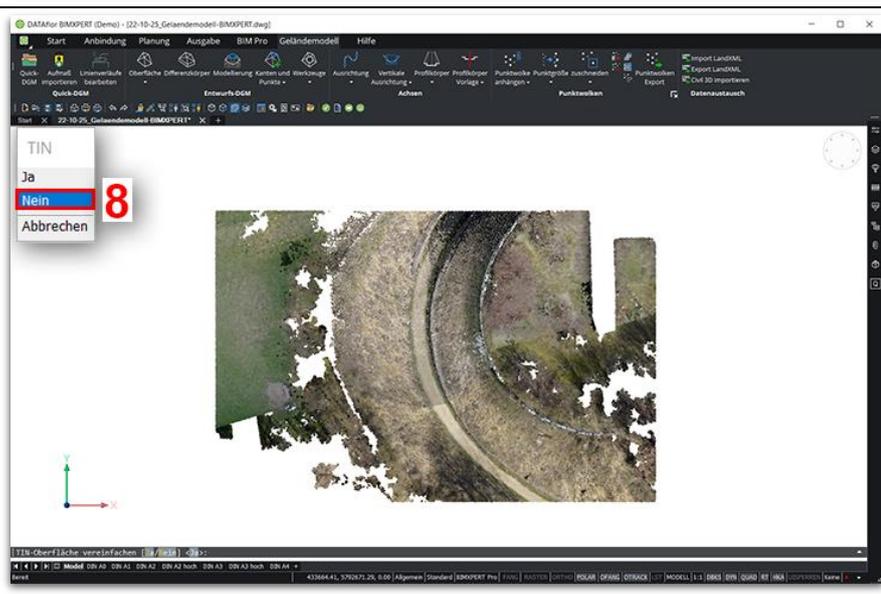
7) Punktwolle anhängen

Punktwolle anhängen und mit Enter bestätigen



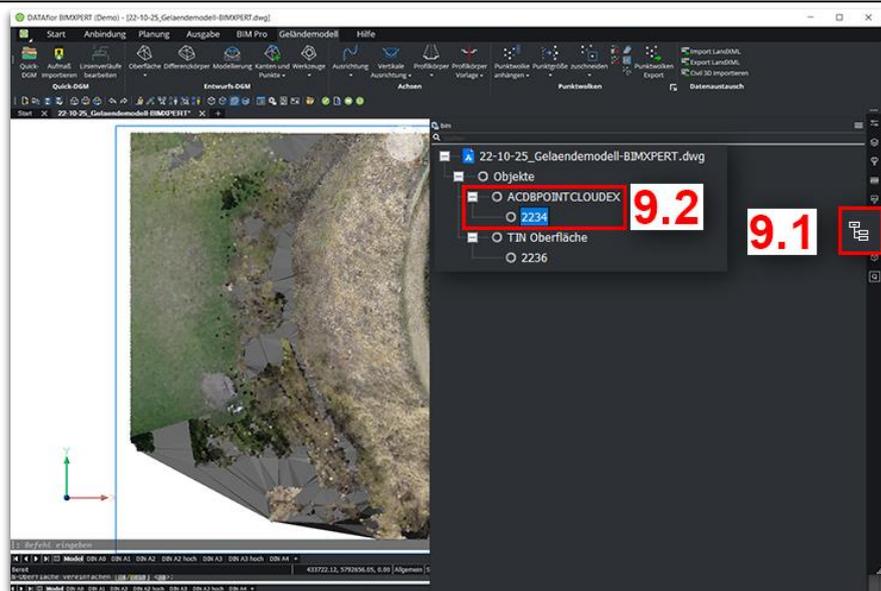
8) TIN vereinfachen

Die Abfrage TIN Oberfläche vereinfachen mit Nein bestätigen



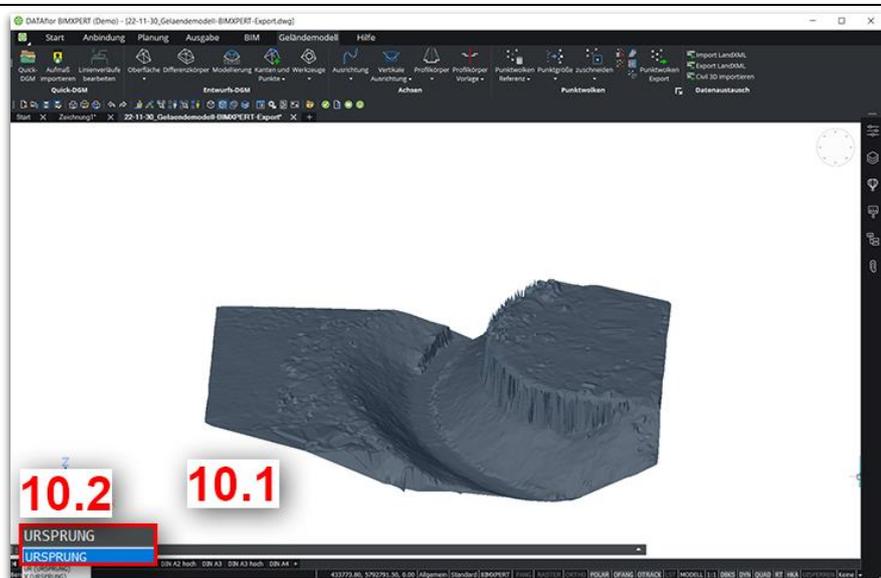
9) Punktwolke löschen

In der **Struktur** kann die **Punktwolke** *angewählt* und *gelöscht* werden, die **TIN Oberfläche** bleibt erhalten



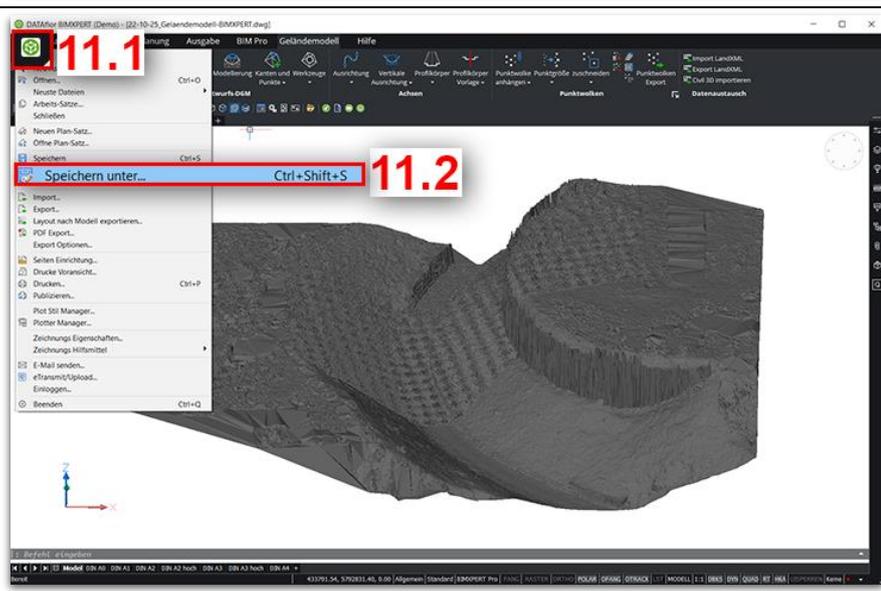
10) TIN sprengen

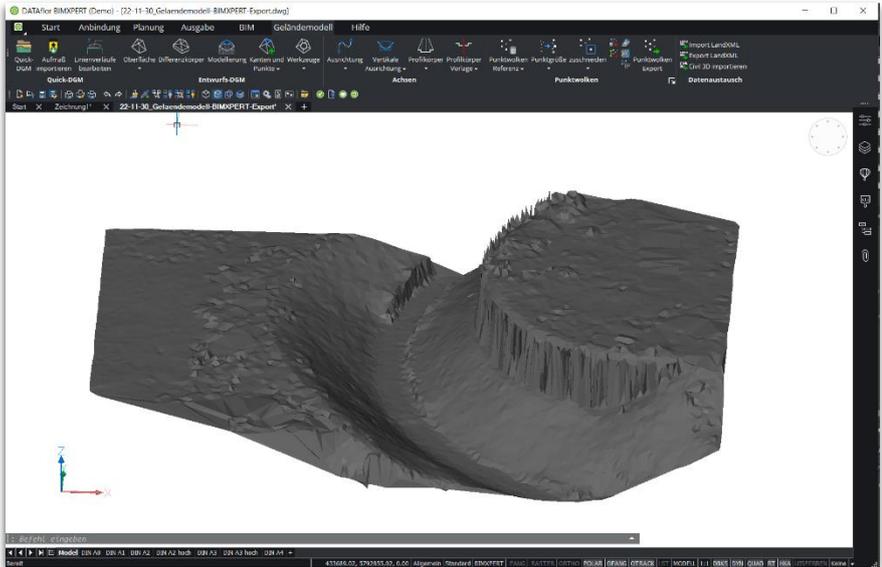
TIN Oberfläche *anwählen* und mit dem Befehl **URSPRUNG sprengen**



11) Datei speichern

Über den Reiter **Start** den Befehl **Speichern unter...** *auswählen*



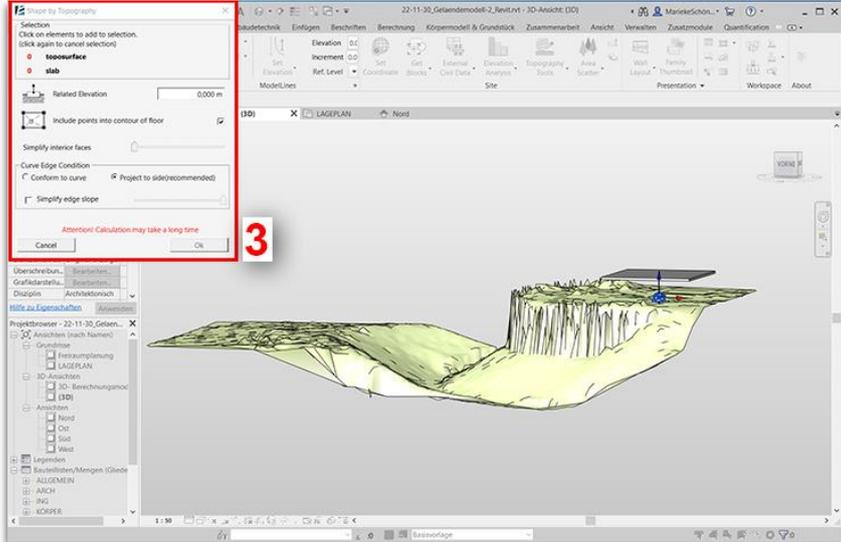
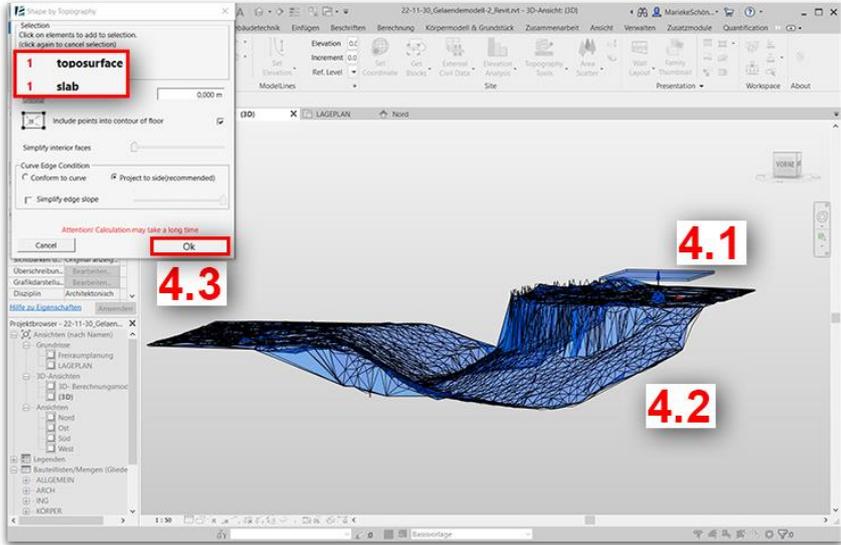
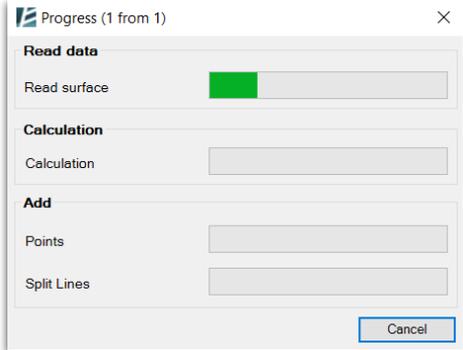
<p>12) Datei speichern</p> <p>Dateinamen vergeben und als DWG-Datei abspeichern</p>	
<p>13) Ergebnis</p>	

8 WORKFLOWS: REVIT ,ENVIRONMENT‘

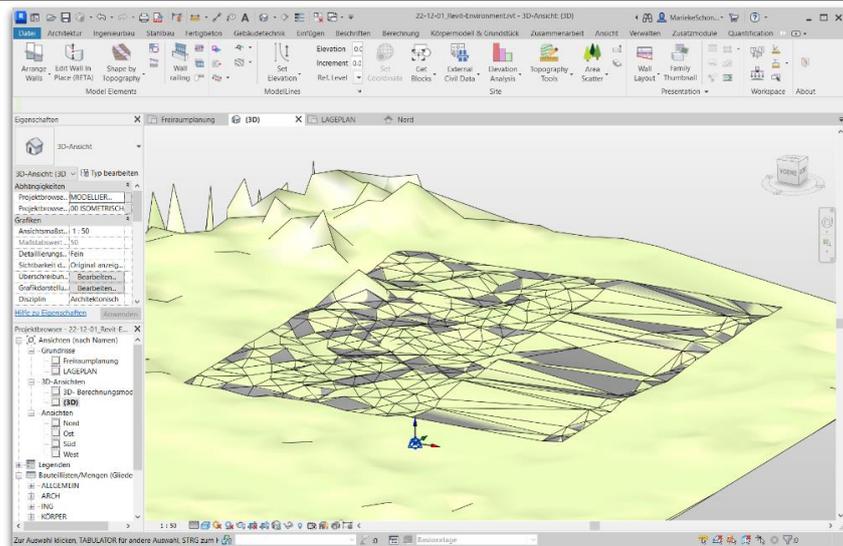
8.1 Workflow: Shape by Topography

Tabelle 25: Workflow: Shape by Topography. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Geschossdecke erhöhen</p> <p>Die Geschossdecke muss vollständig über dem Gelände-modell liegen</p>	<p>1.1</p> <p>1.2</p>
<p>2) Shape by Topography auswählen</p> <p>Über den Reiter Environment in der Gruppe Model Elements über Shape by Topography den Befehl Shape by Topography auswählen</p>	<p>2.1</p> <p>2.2</p>

<p>3) Dialogfenster</p> <p>Es öffnet sich ein Dialogfenster</p>	
<p>4) Oberfläche auswählen</p> <p>Geschosdecke und Geländemodell auswählen und mit OK bestätigen</p>	
<p>5) Ladevorgang</p> <p>Ladevorgang abwarten</p>	

6) Ergebnis

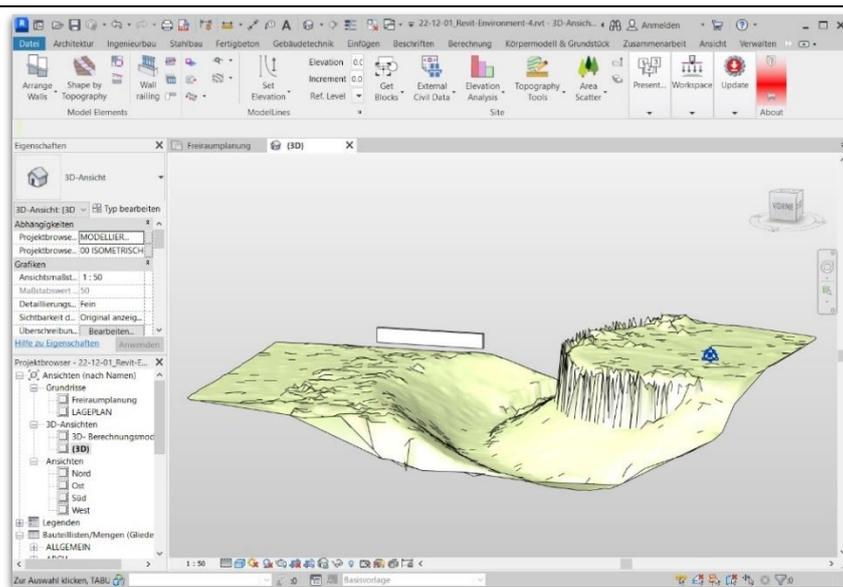


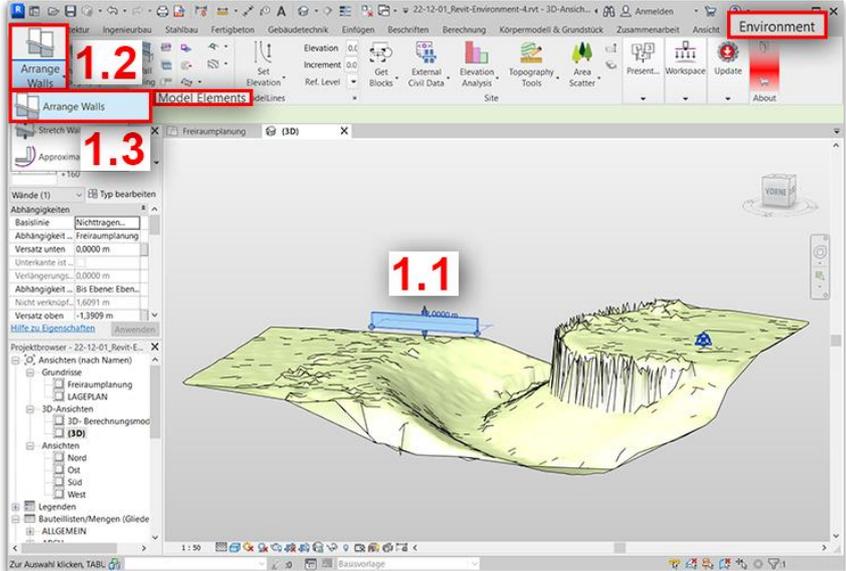
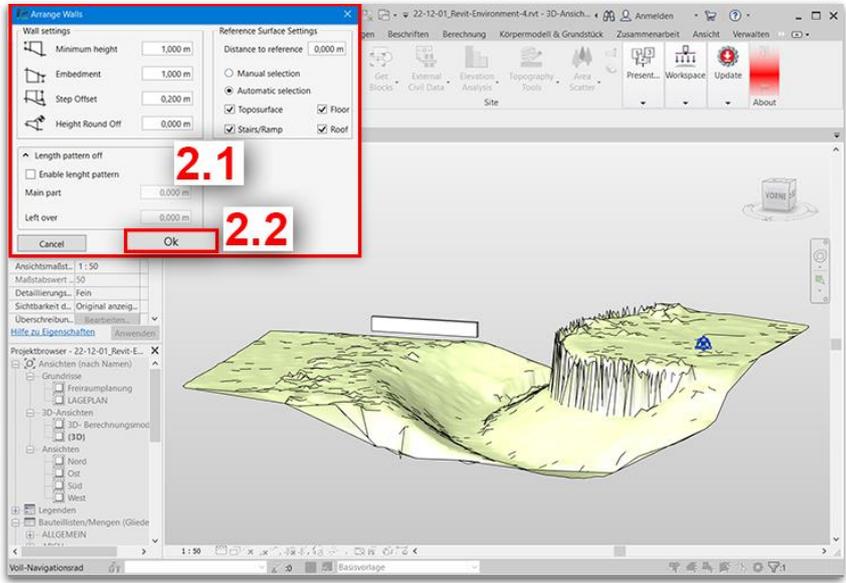
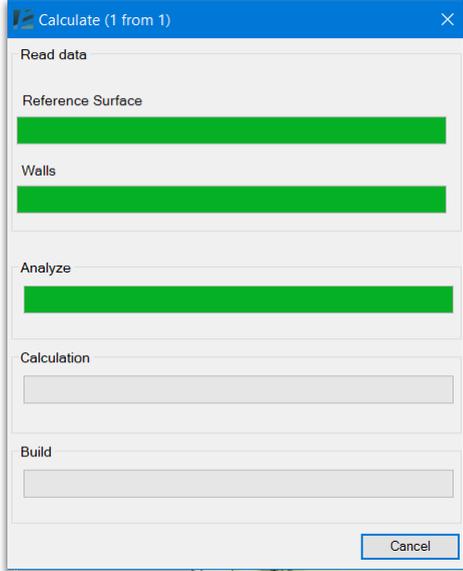
8.2 Workflow: Arrange Walls

Tabelle 26: Workflow: Arrange Walls. EIGENE DARSTELLUNG.

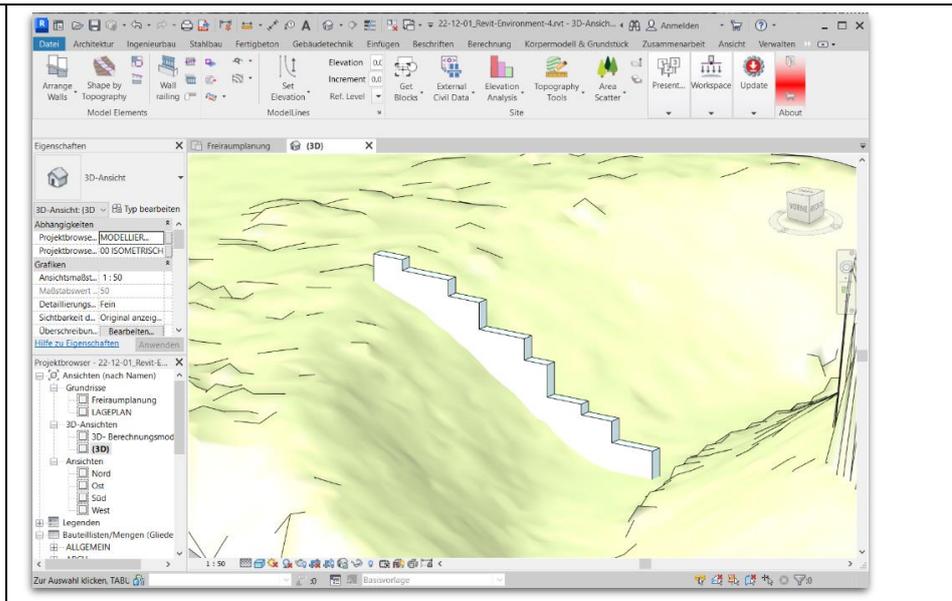
0) Projektgrundlage

Im Projekt befindet sich eine konstruierte Wand, die oberhalb des Geländemodells liegt



<p>1) Arrange Walls</p> <p>Über den Reiter Environment in der Gruppe Model Elements über Arrange Walls den Befehl Arrange Walls aufrufen</p>	
<p>2) Ladevorgang</p> <p>Im Dialogfenster können viele Einstellungen zur Wand bearbeitet werden, diese mit OK bestätigen</p>	
<p>3) Ladevorgang</p> <p>Ladevorgang abwarten</p>	

5) Ergebnis

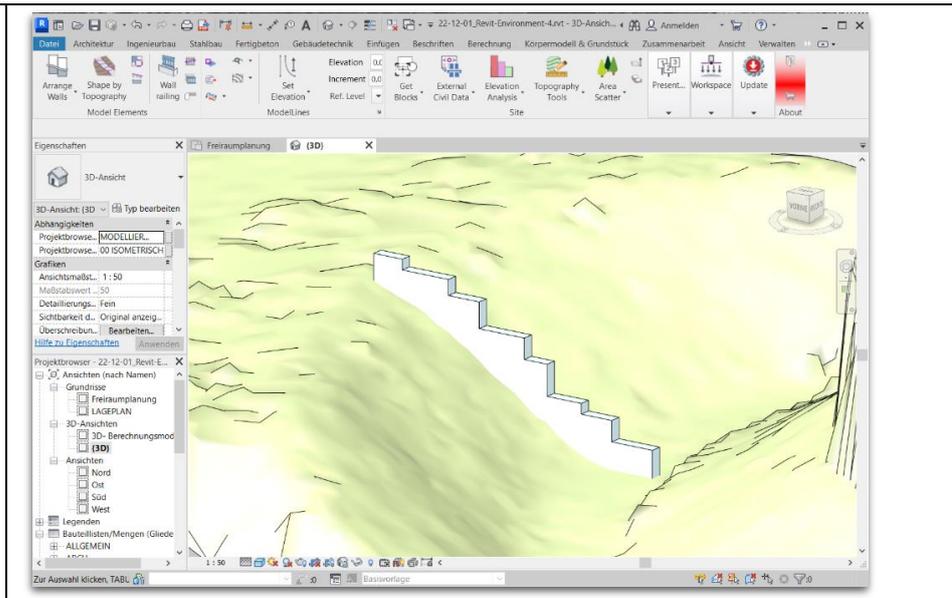


8.3 Workflow: Stretch Wall

Tabelle 27: Workflow: Stretch Wall. EIGENE DARSTELLUNG.

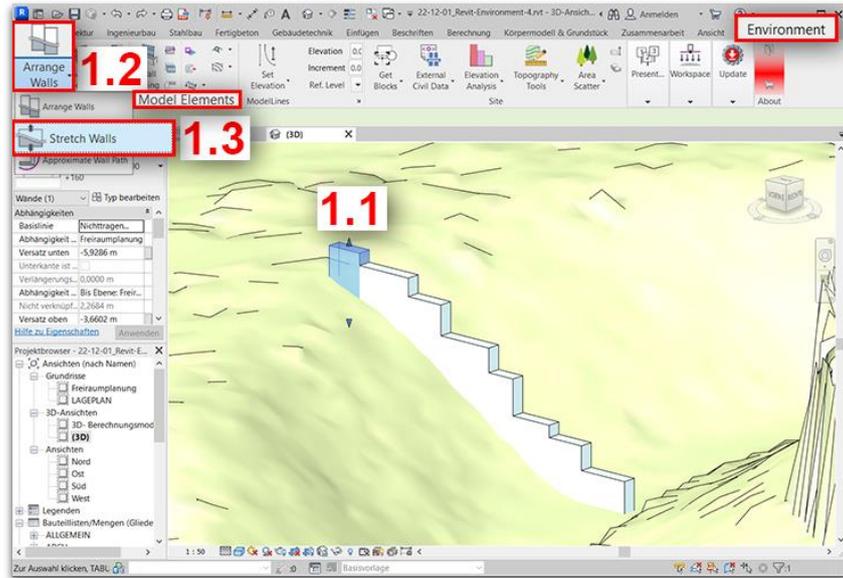
0) Projektgrundlage

Es wird mit der zuvor erstellten Wand weitergearbeitet



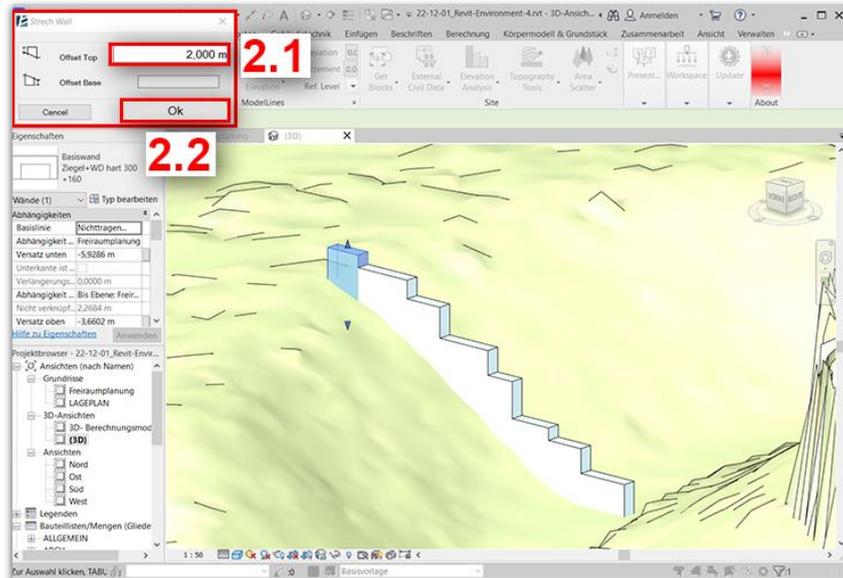
1) Ladevorgang

Über den Reiter **Environment** in der Gruppe **Model Elements** über **Arrange Walls** den Befehl **Stretch Walls aufrufen**

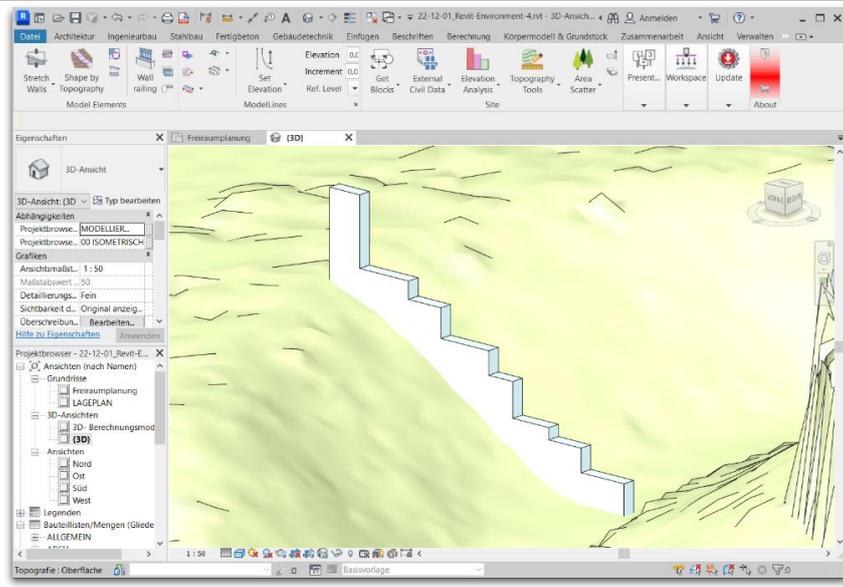


2) Einstellungen

Es kann die **Höhe** der einzelnen Wandabschnitte über und unter der Geländeoberfläche eingestellt und mit **OK bestätigt** werden

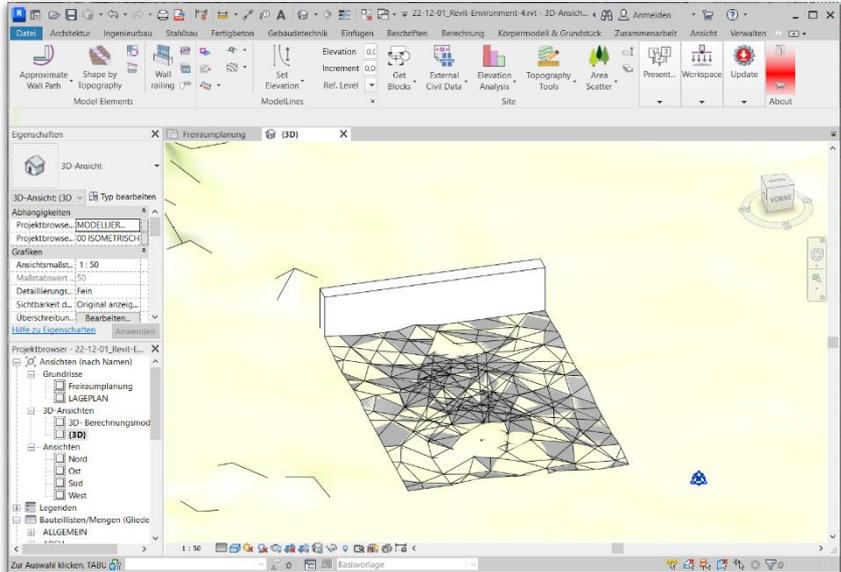
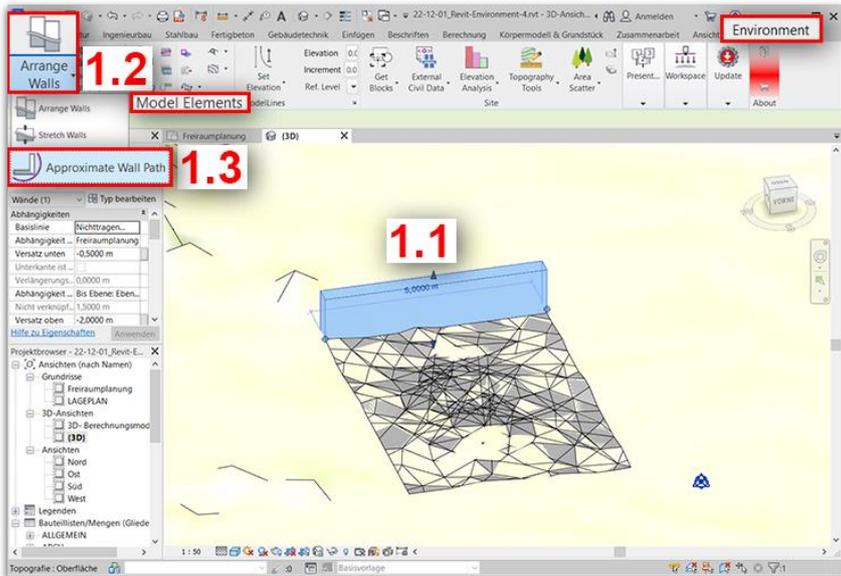


3) Ergebnis



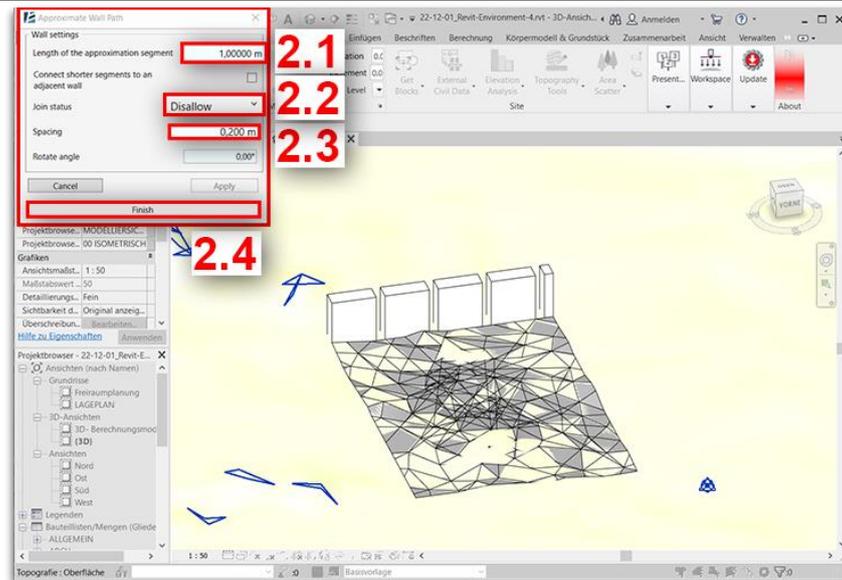
8.4 Workflow: Approximate Wall Path

Tabelle 28: Workflow: Approximate Wall Path. EIGENE DARSTELLUNG.

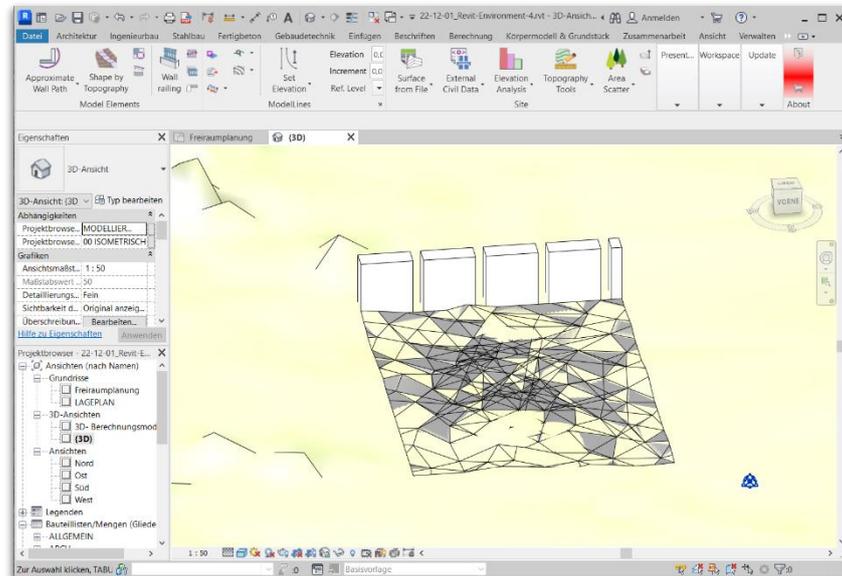
<p>0) Projektgrundlage</p> <p>Es wird mit einer zuvor erstellten geraden Mauer weitergearbeitet</p>	
<p>1) Projektgrundlage</p> <p>Die Mauer anwählen und über den Reiter Environment, die Gruppe Model Elements und Arrange Walls den Befehl Approximate Wall Path aufrufen</p>	

2) Einstellungen

In den Einstellungen können Angaben zur **Länge** der einzelnen Segmente, zum **Abstand** und zur **Drehung** eingetragen und mit **Finish** bestätigt werden

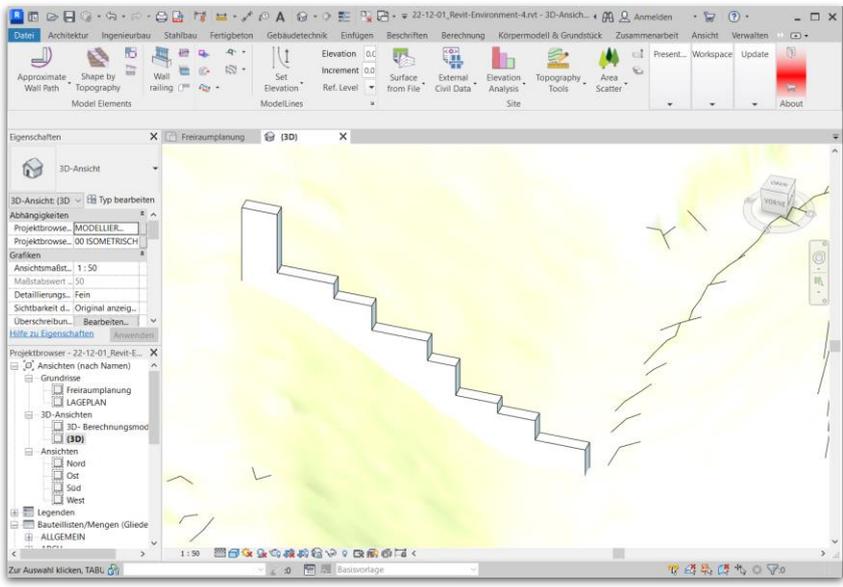
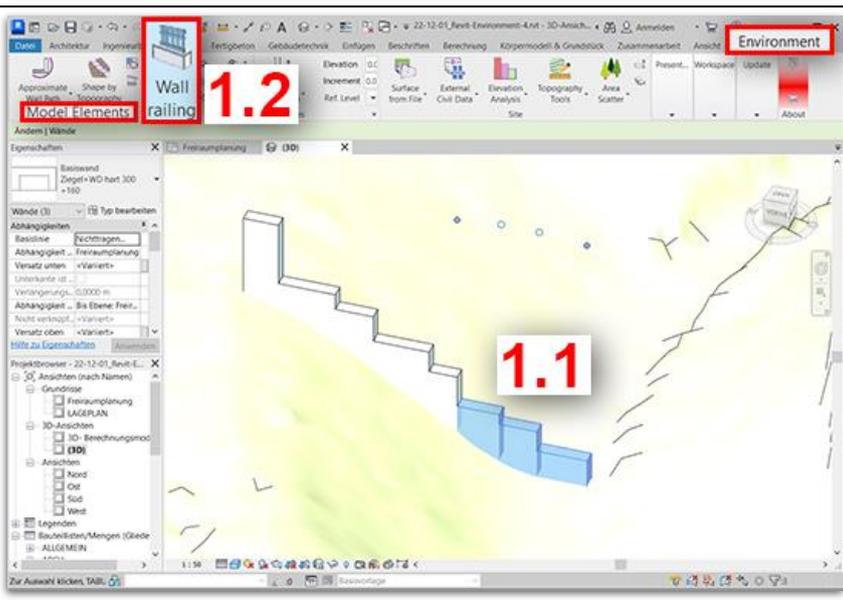


3) Ergebnis



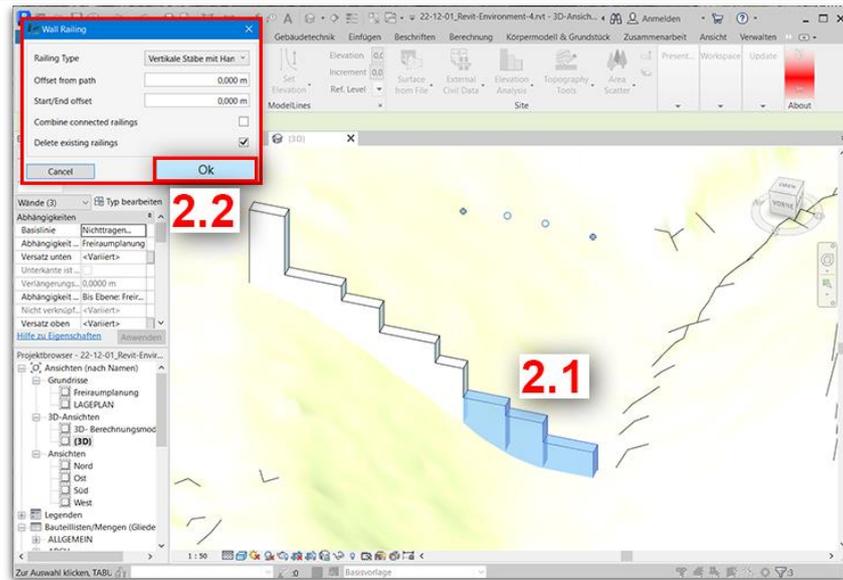
8.5 Workflow: Wall railing

Tabelle 29: Workflow: Wall railing. EIGENE DARSTELLUNG.

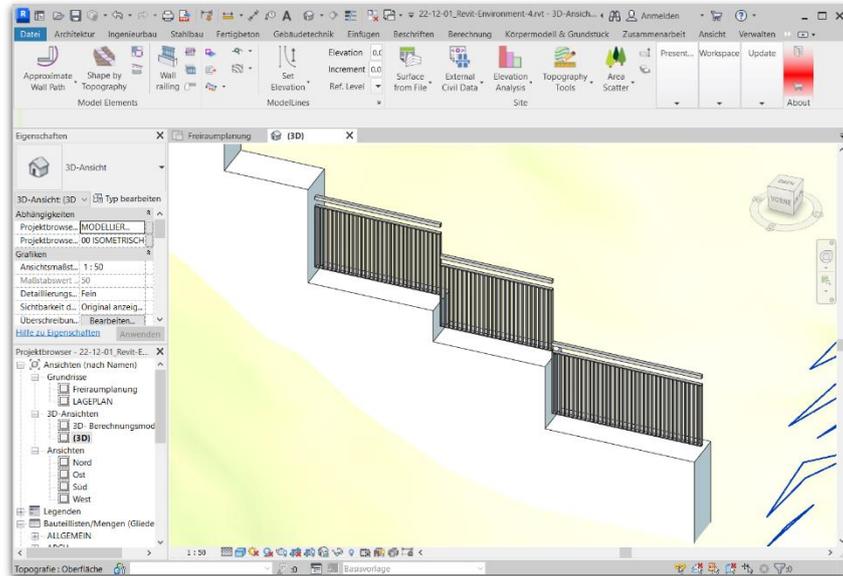
<p>0) Projektgrundlage</p> <p>Es wird mit der zuvor erstellten Wand/Mauer weitergearbeitet</p>	
<p>1) Wall railing</p> <p>Gewünschte Wandsegmente auswählen und über den Reiter Environment und die Gruppe Modell Elements den Befehl Wall railing aufrufen</p>	

3) Einstellungen

Hier kann ein vordefiniertes **Geländer-typ ausgewählt** und Einstellungen zur **Positionierung** vorgenommen werden, mit **OK bestätigen**

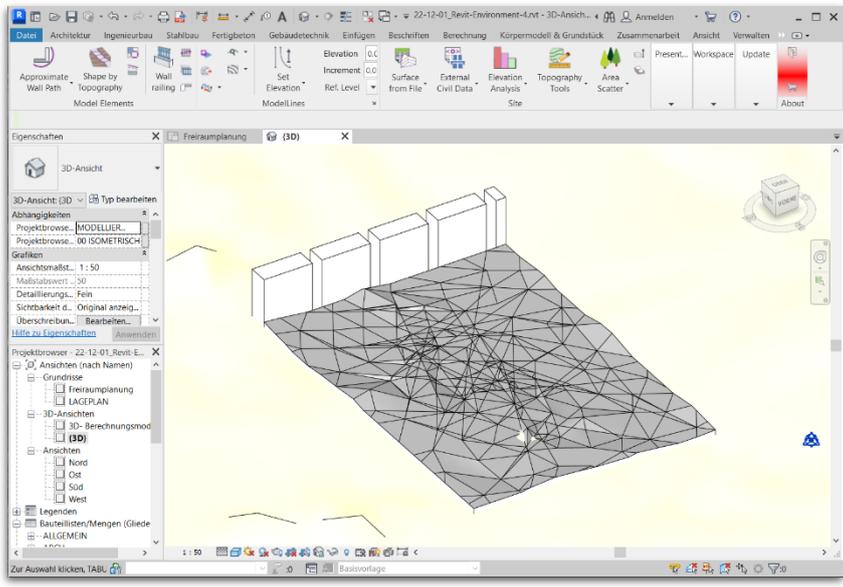
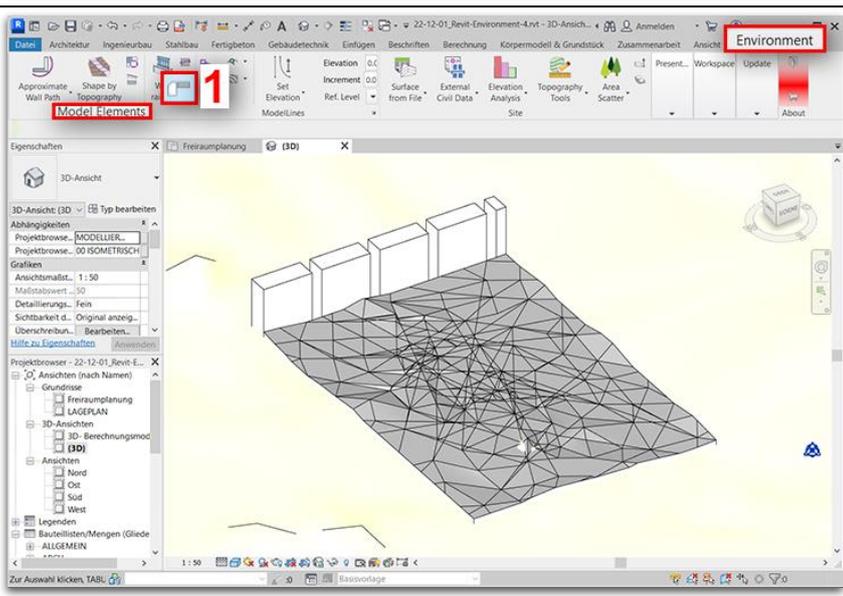


4) Ergebnis



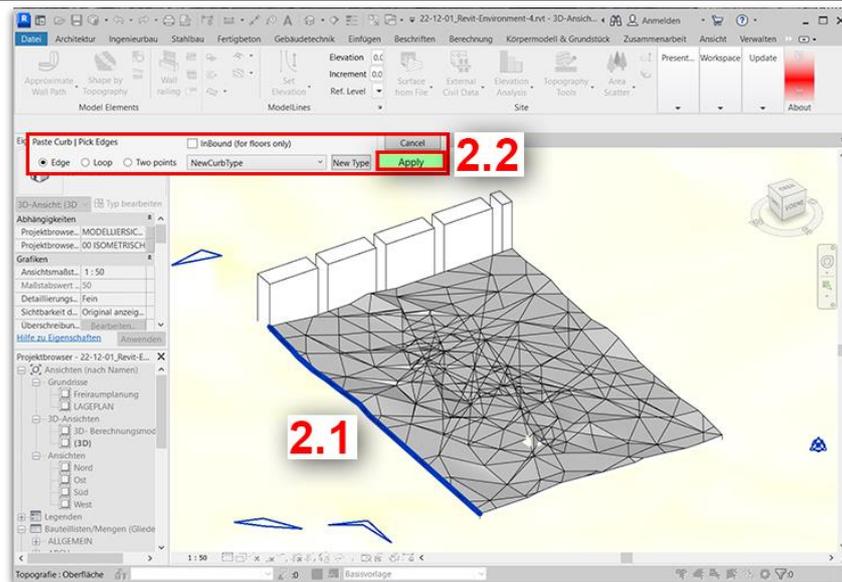
8.6 Workflow: Paste curb

Tabelle 30: Workflow: Paste curb. EIGENE DARSTELLUNG.

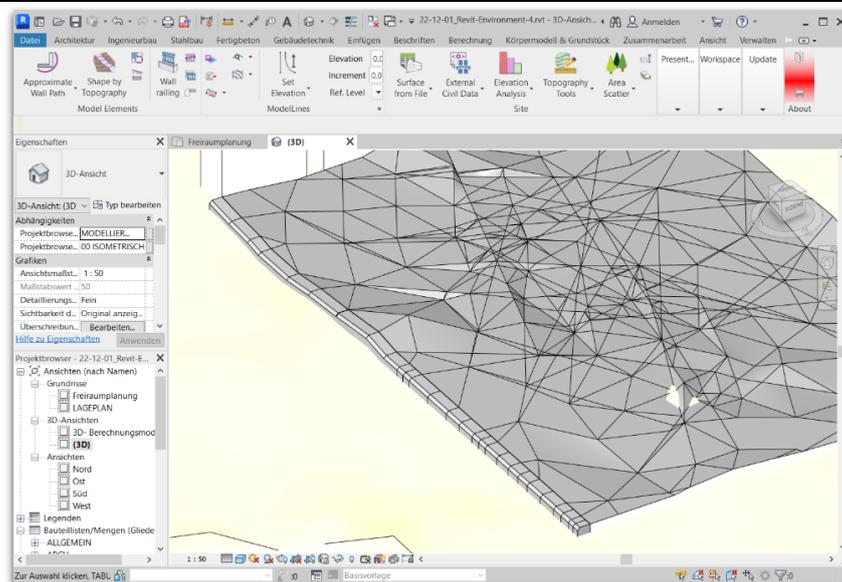
<p>0) Projektgrundlage</p> <p>Es wird mit der zuvor erstellten Geschossdecke weitergearbeitet</p>	
<p>1) Paste curb</p> <p>Über den Reiter Environment in der Gruppe Model Elements den Befehl Paste curb auswählen</p>	

2) Einstellungen

Die entsprechende Kante der Geschosssdecke wird *ausgewählt*, nun können **vordefinierte Profile** ausgewählt und mit **Apply** bestätigt werden

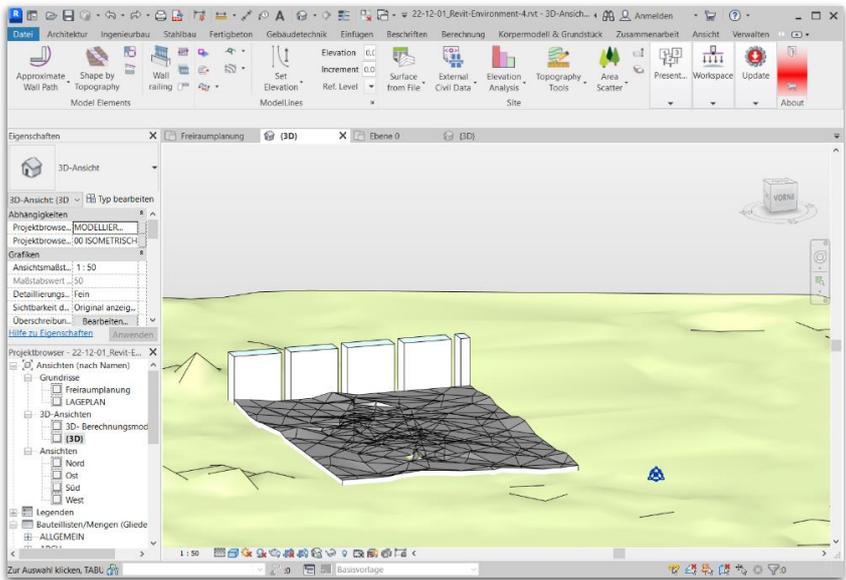
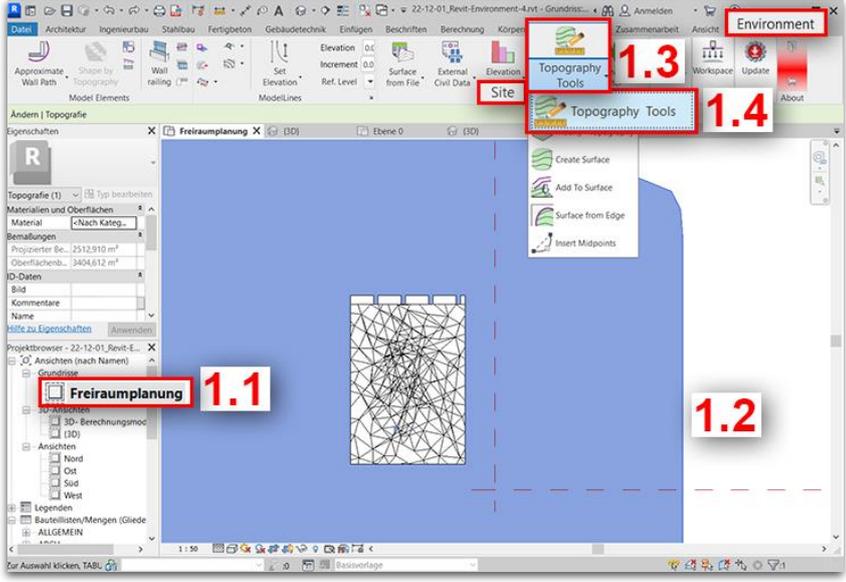


3) Ergebnis



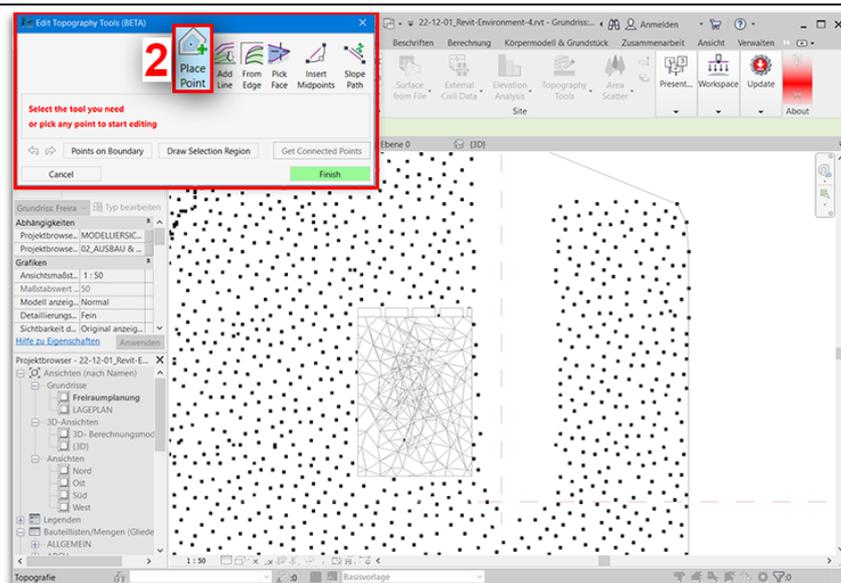
8.7 Workflow: Place Point

Tabelle 31: Workflow: Place Point. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>0) Projektgrundlage</p> <p>Es wird auf Grundlage des enthaltenen Geländemodells weitergearbeitet</p>	
<p>1) Topography Tools</p> <p>Auf der Ebene Freiraumplanung wird Geländemodell ausgewählt, anschließend über den Reiter Environment in der Gruppe Site über Topography Tools der Befehl Topography Tools aufgerufen</p>	

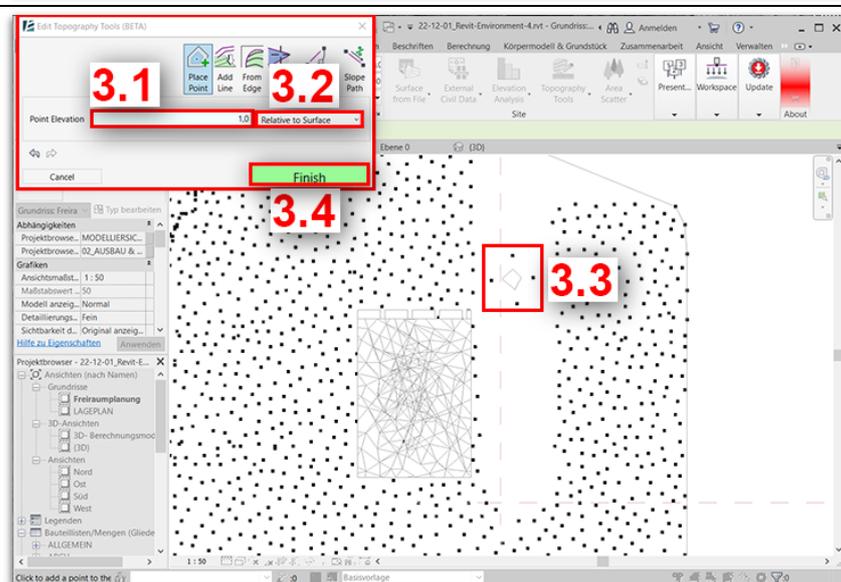
2) Place Point

Der Befehl **Place Point** wird *ausgewählt*



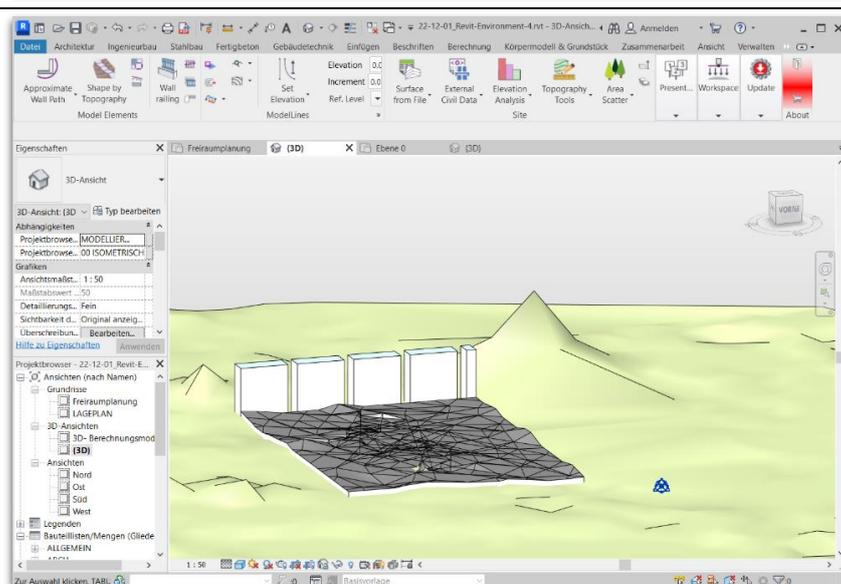
3) Einstellungen

Hier kann die **Punkthöhe** *eingestellt* und *ausgewählt* werden, ob der Punkt **absolut** oder **relativ** zum Geländemodell platziert wird, mit **Finish** *beenden*



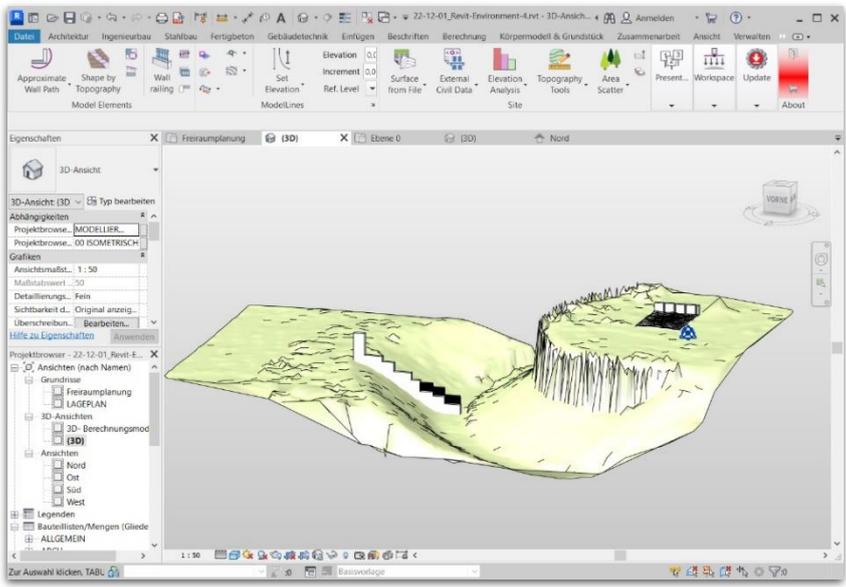
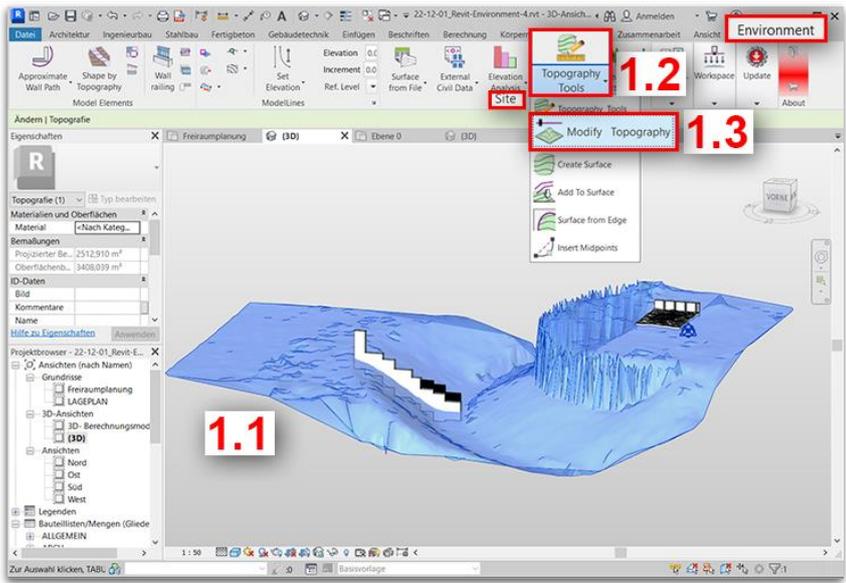
4) Ergebnis

Hügel im rechten Hintergrund



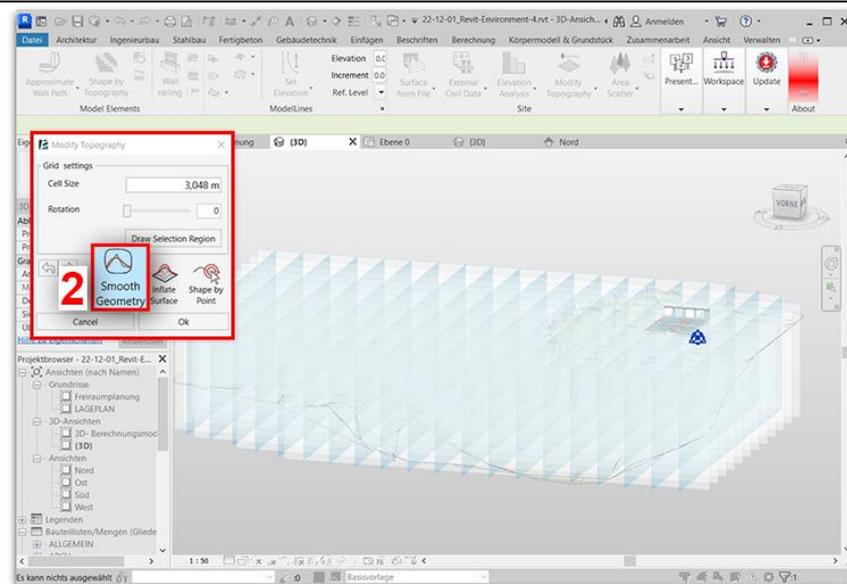
8.8 Workflow: Smooth Geometry

Tabelle 32: Workflow: Smooth Geometry. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>0) Projektgrundlage</p> <p>Es wird auf Grundlage des enthaltenen Geländemodells weitergearbeitet</p>	
<p>1) Modify Topography</p> <p>Das Geländemodell wird <i>angewählt</i>, über den Reiter Environment in der Gruppe Site über Topography Tools wird der Befehl Modify Topography ausgewählt</p>	

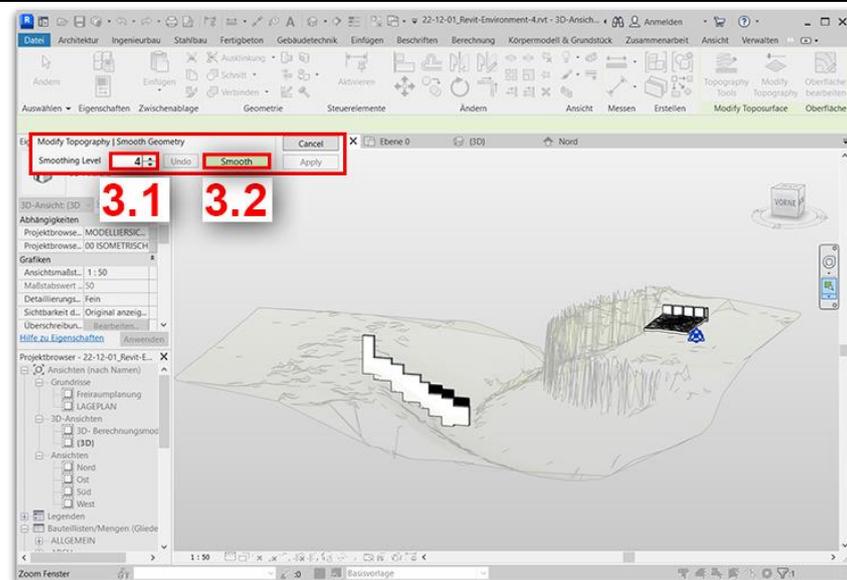
2) Smooth Geometry

Der Befehl **Smooth Geometry** wird *aufgerufen*



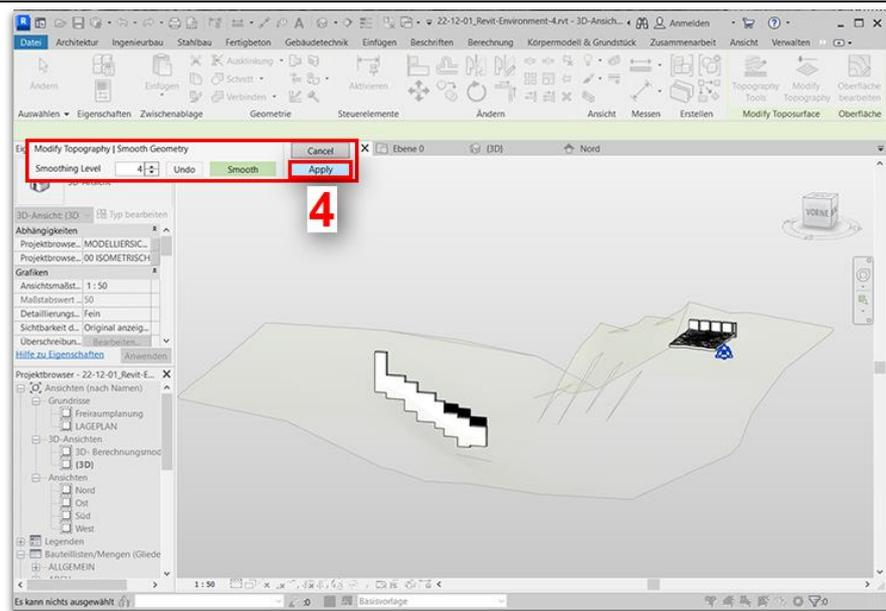
3) Einstellungen

Es wird ein Level zwischen **1** und **4** ausgewählt und mit **Smooth** eine Vorschau erstellt



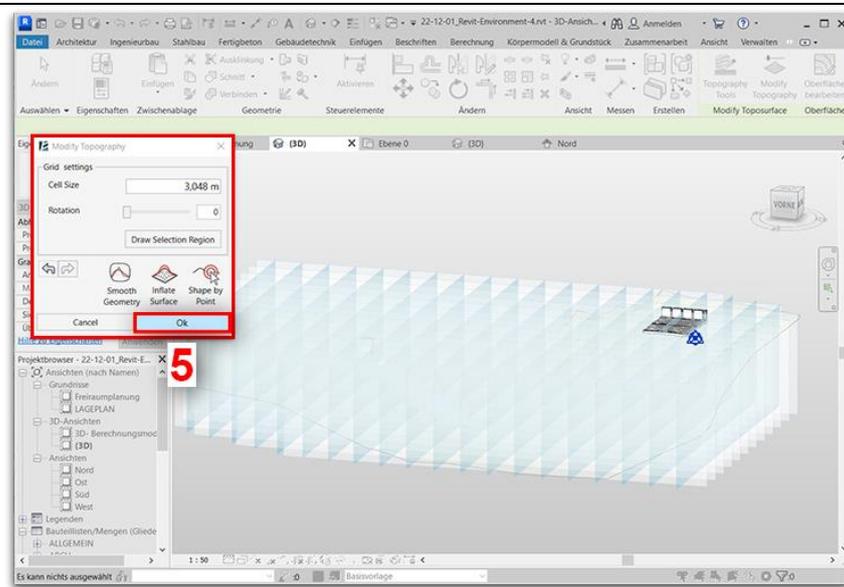
4) Befehl anwenden

Der Befehl wird über **Apply** angewendet

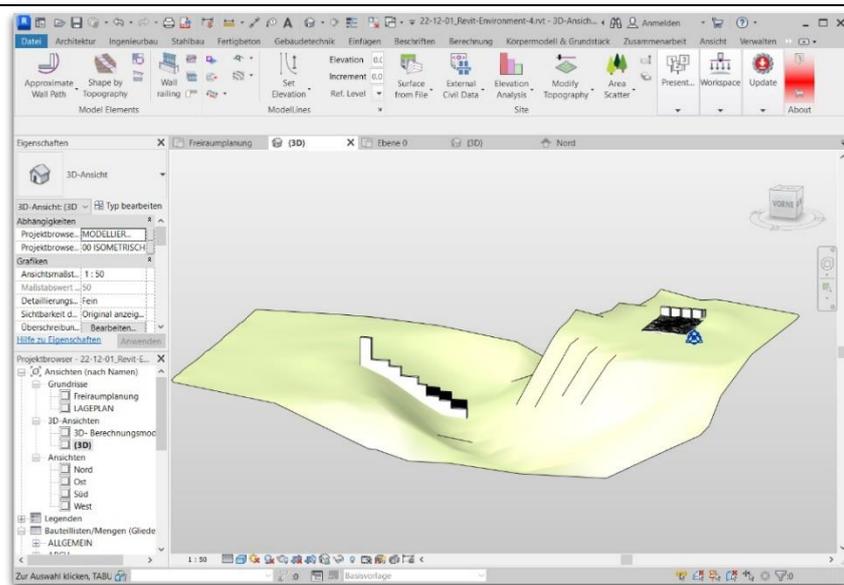


5) Befehl schließen

Die Bearbeitung wird über **OK** beendet

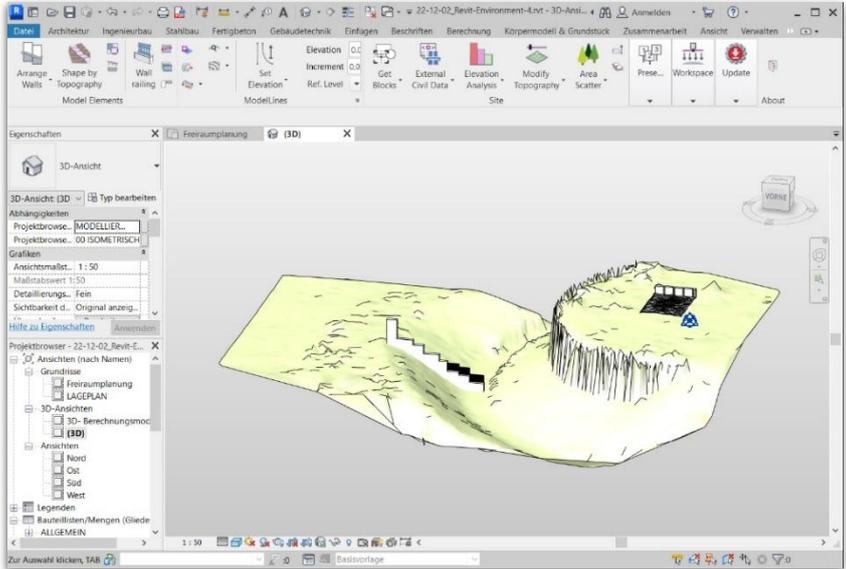
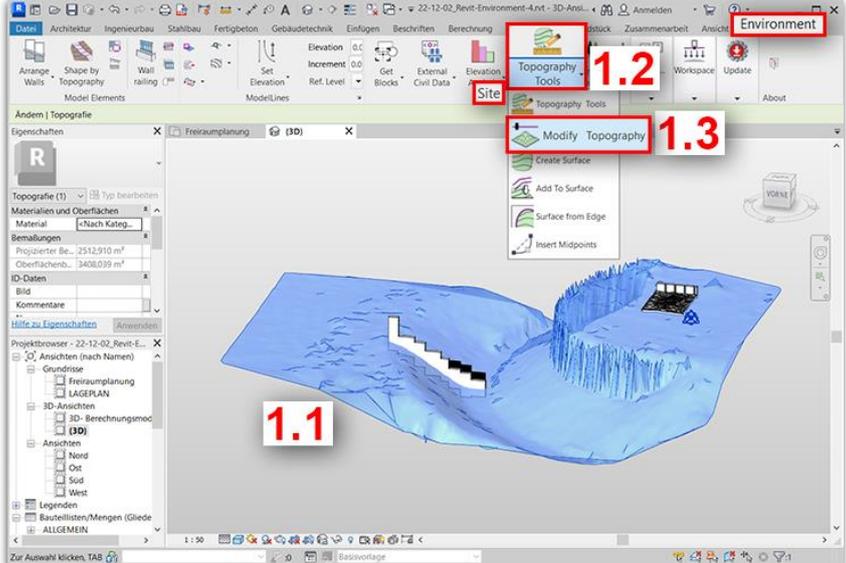


6) Ergebnis



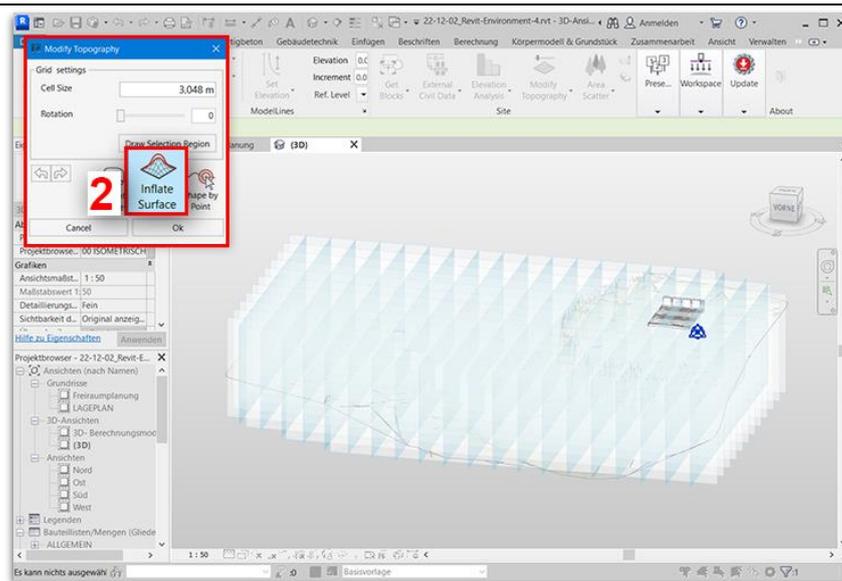
8.9 Workflow: Inflate Surface

Tabelle 33: Workflow: Inflate Surface. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>0) Projektgrundlage</p> <p>Es wird auf Grundlage des enthaltenen Geländemodells weitergearbeitet</p>	
<p>1) Modify Topography</p> <p>Das Geländemodell wird <i>angewählt</i>, über den Reiter Environment in der Gruppe Site über Topography Tools wird der Befehl Modify Topography ausgewählt</p>	

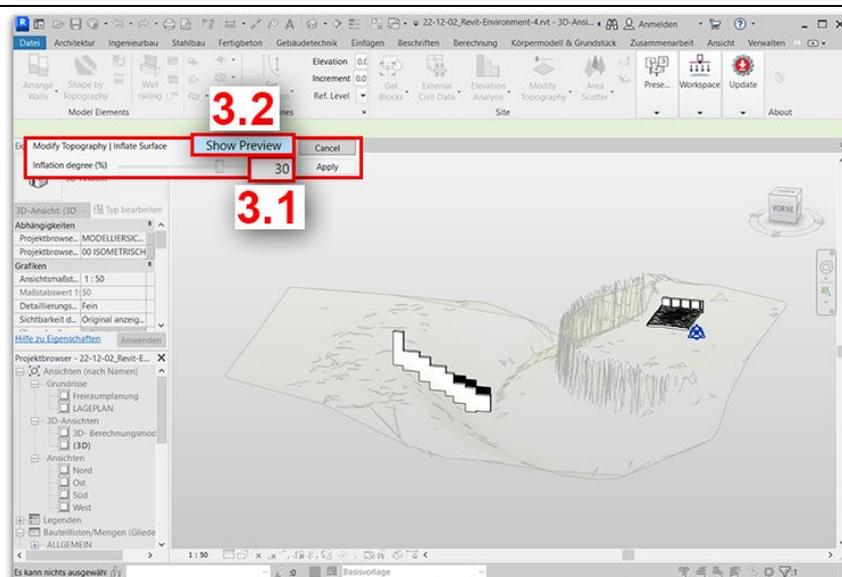
2) Inflate Surface

Der Befehl **Inflate Surface** wird aufgerufen



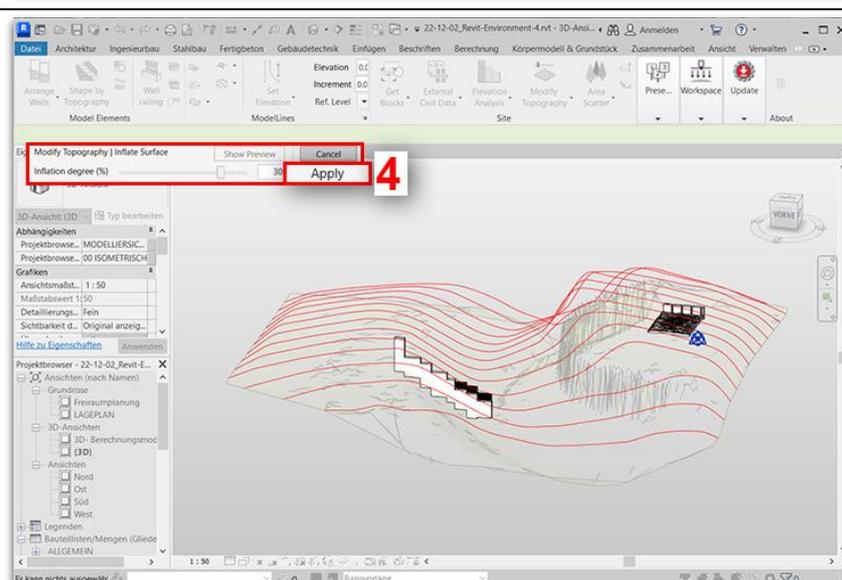
3) Einstellungen

Für eine Auffüllung des Geländes wird ein positiver, für einen Abtrag ein negativer Wert vergeben und eine **Vorschau** angezeigt



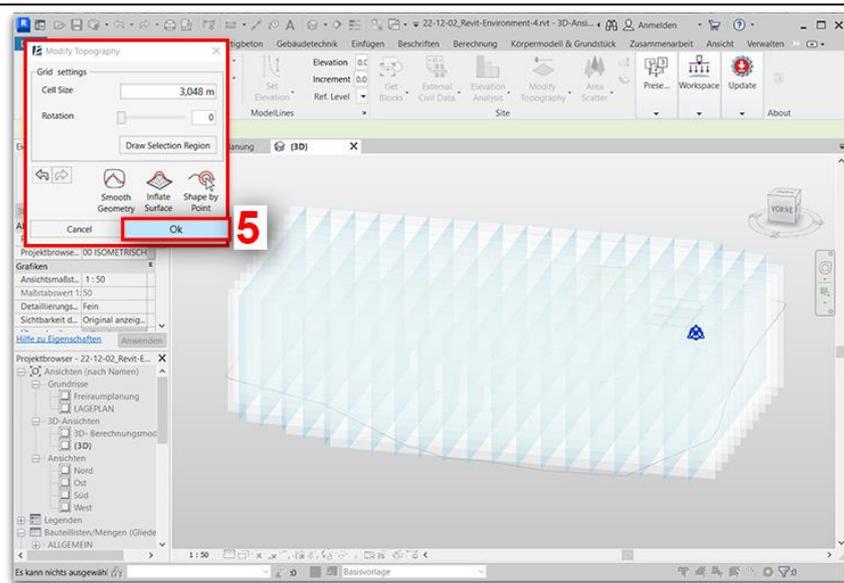
4) Befehl anwenden

Der Befehl wird mit **Apply** angewendet

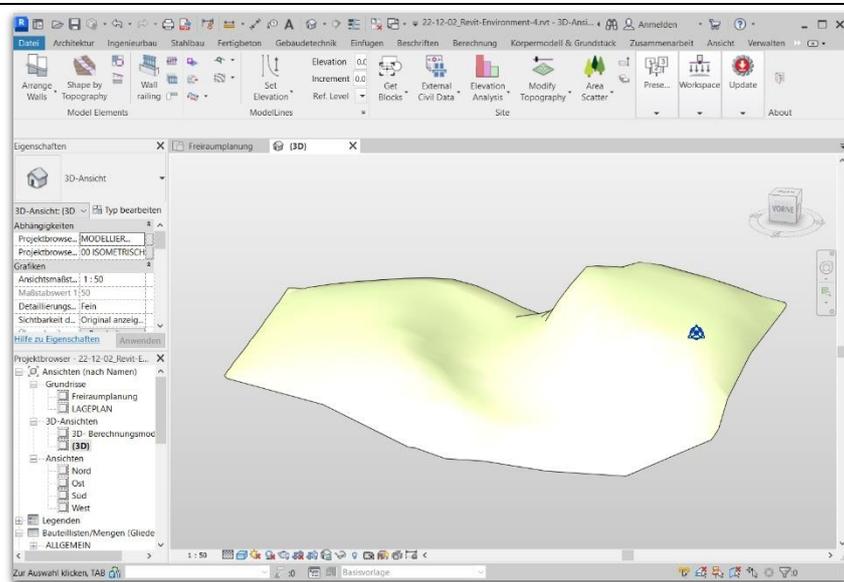


5) Befehl schließen

Die Bearbeitung wird über **OK** beendet

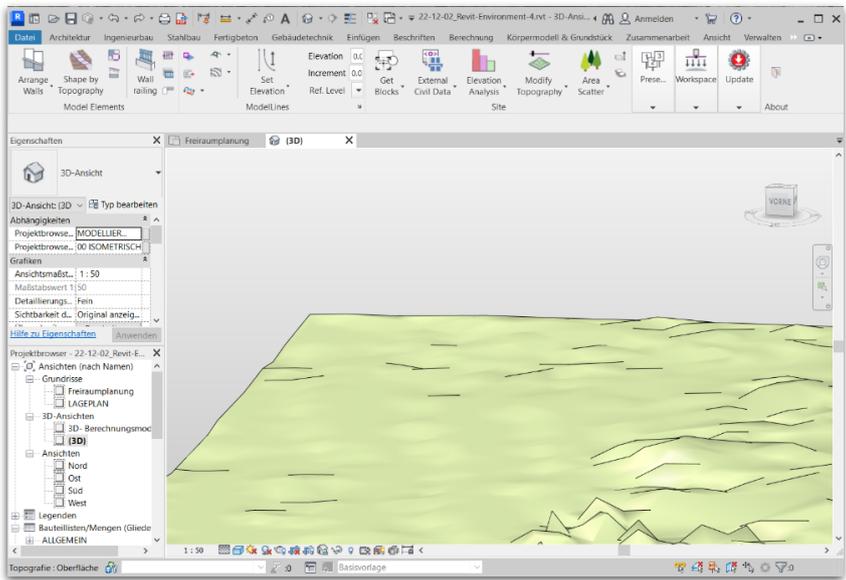
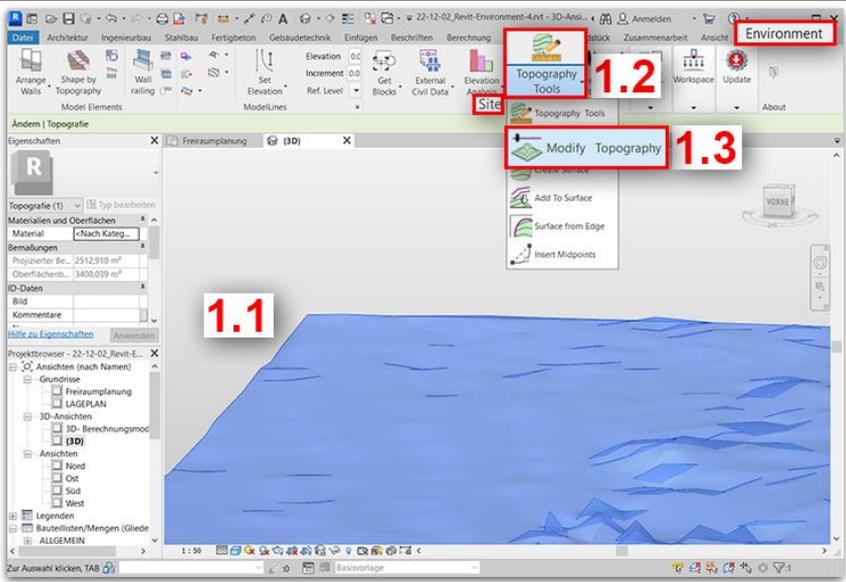


6) Ergebnis



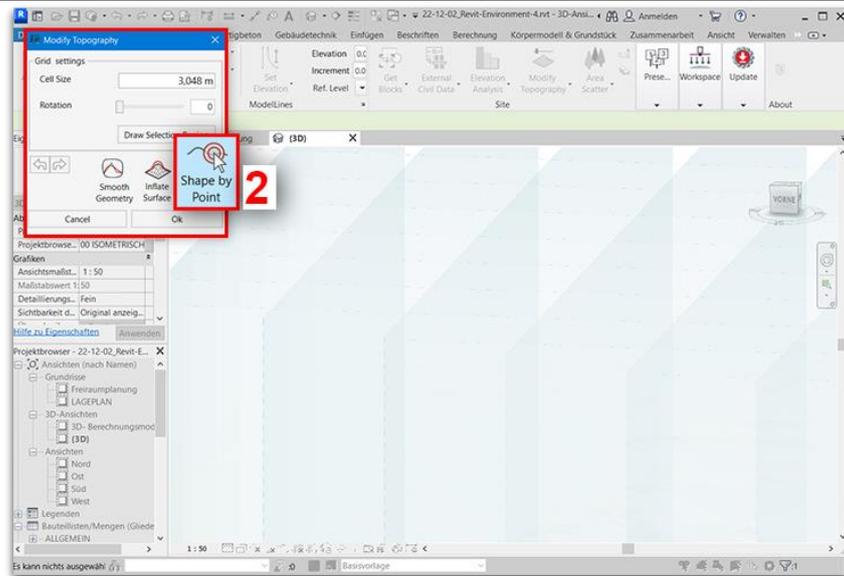
8.10 Workflow: Shape by Point

Tabelle 34: Workflow: Shape by Point. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>0) Projektgrundlage</p> <p>Es wird auf Grundlage des enthaltenen Geländemodells weitergearbeitet</p>	
<p>1) Modify Topography</p> <p>Das Geländemodell wird <i>angewählt</i>, über den Reiter Environment in der Gruppe Site über Topography Tools wird der Befehl Modify Topography ausgewählt</p>	

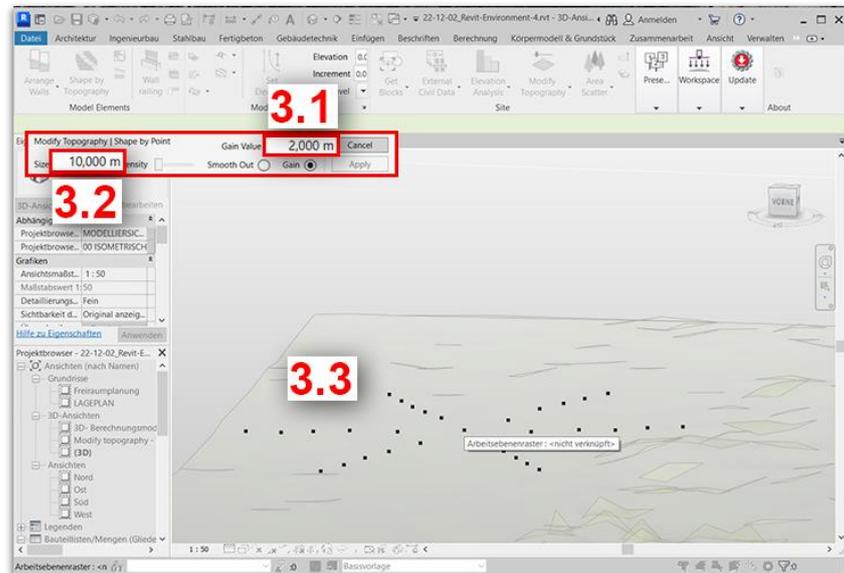
2) Shape by Point

Der Befehl **Shape by Point** wird aufgerufen



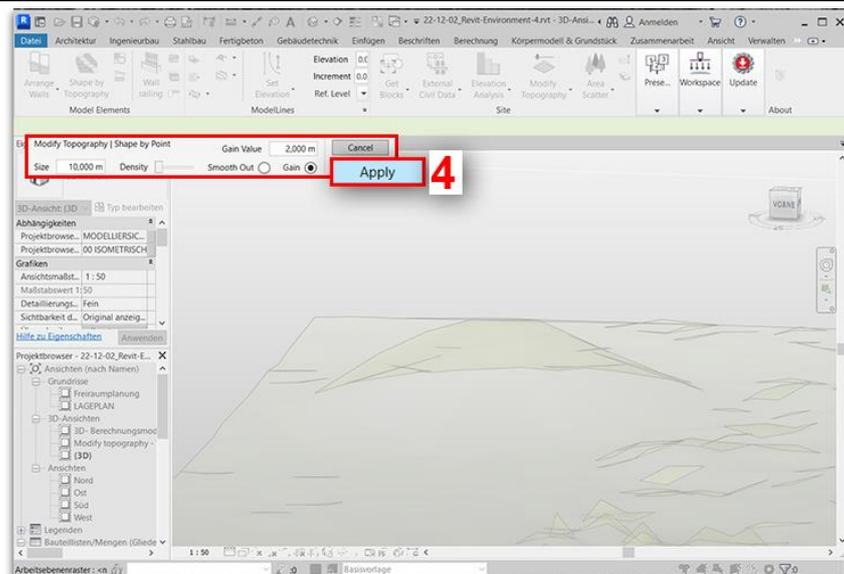
3) Einstellungen

Hier kann über **Size** der Radius des Werkzeugs und über **Gain Value** der Abstand zwischen den Achsen gewählt werden



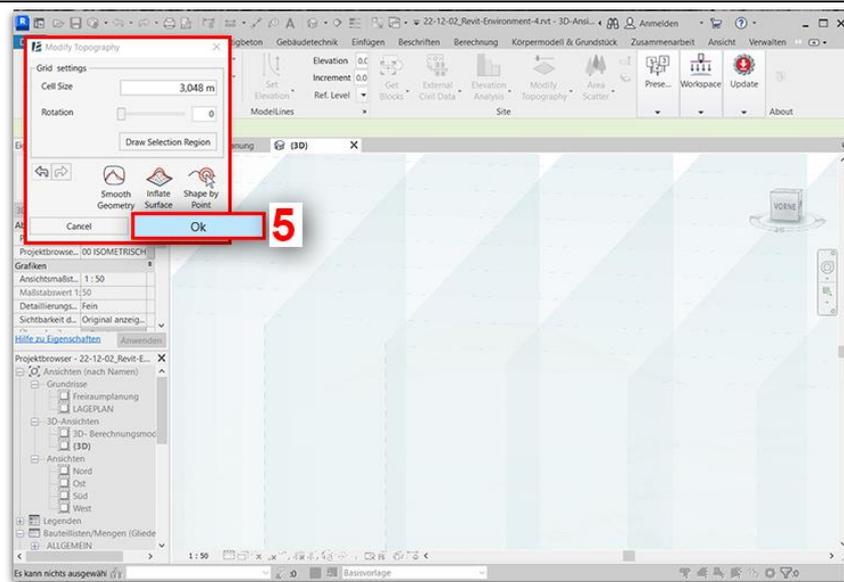
4) Befehl anwenden

Der Befehl wird mit **Apply** angewendet

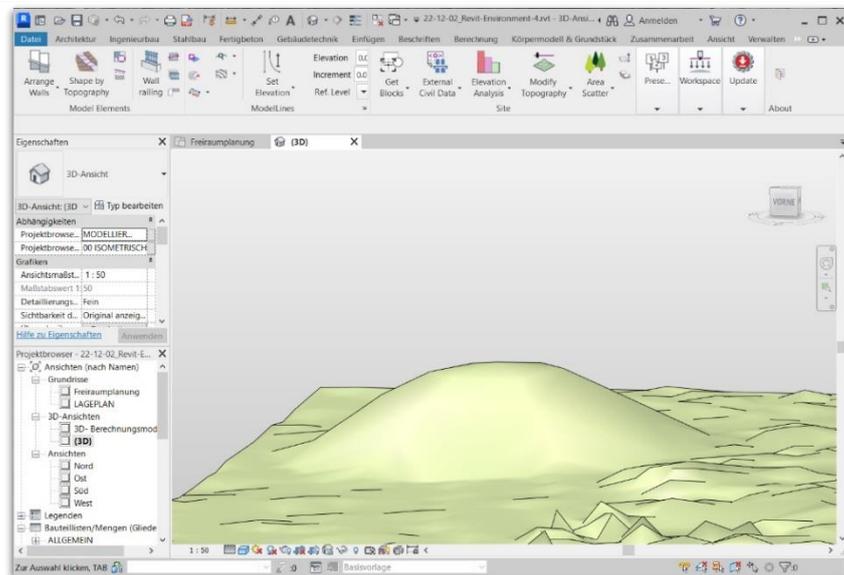


5) Befehl schließen

Die Bearbeitung wird über **OK** beendet

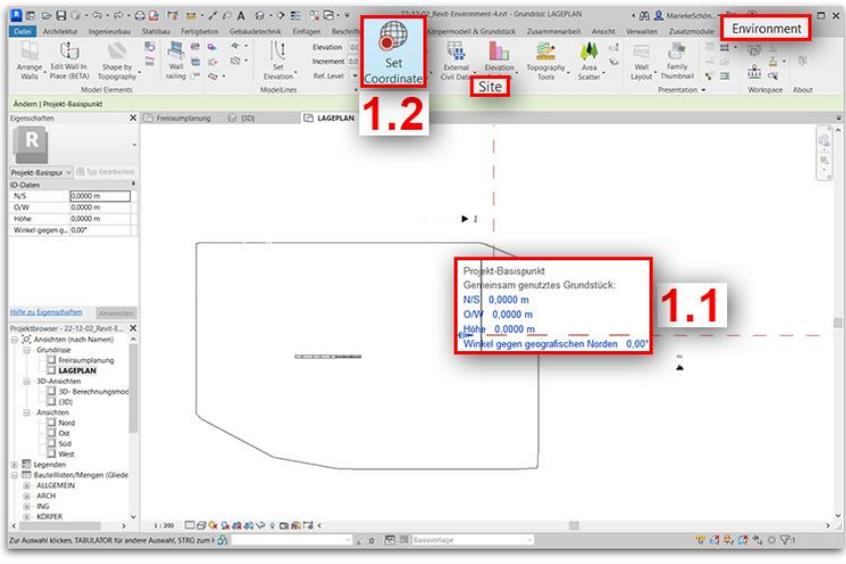
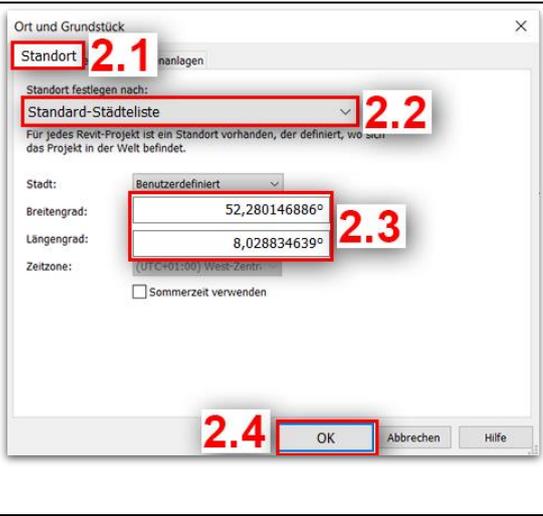
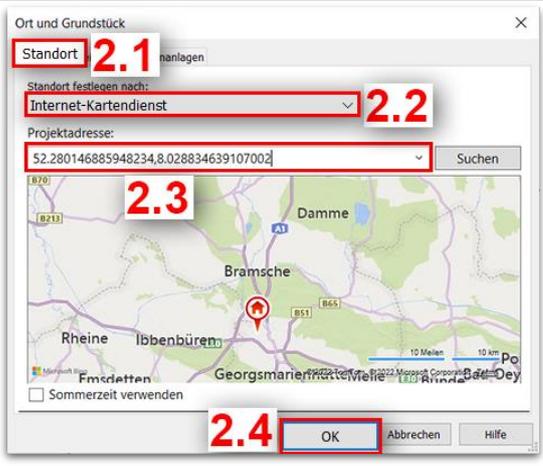


6) Ergebnis



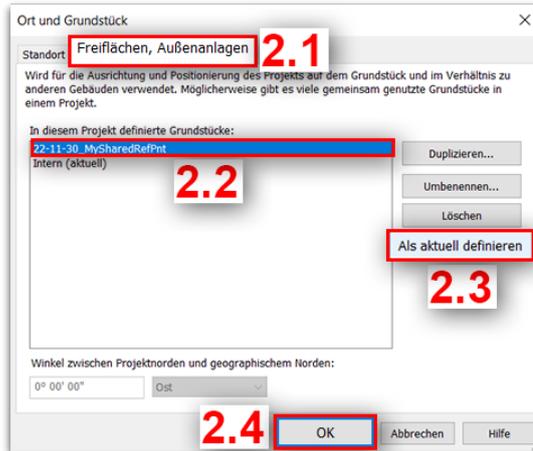
8.11 Workflow: Set Coordinate

Tabelle 35: Workflow: Set Coordinate. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Set Coordinate</p> <p>Der Projekt-Basispunkt wird angewählt, über den Reiter Environment in der Gruppe Site wird der Befehl Set Coordinate <i>aufgerufen</i></p>	
<p>2.1) Koordinaten angeben</p> <p>Über den Reiter Standort wird die Standard-Städte- <i>liste ausgewählt</i>, der Breiten- und Längengrad <i>einggeben</i> und mit OK <i>bestätigt</i></p>	
<p>2.2) Koordinaten eingeben</p> <p>Über den Reiter Standort wird der Internet-Karten- <i>dienst ausgewählt</i>, der Breiten- und Längengrad in die Projektadresse <i>eingetragen</i> und mit OK <i>bestätigt</i></p>	

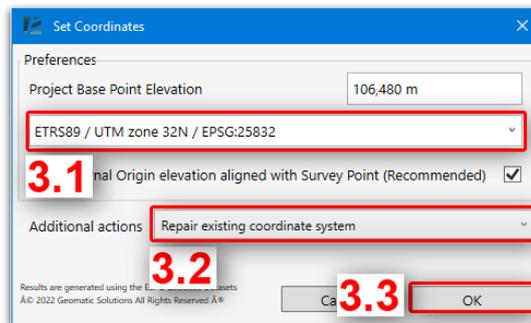
2.3) Koordinaten eingeben

Über den Reiter **Freiflächen, Außenanlagen** den zuvor importierten **Shared Reference Point** *auswählen*, als **Aktuell definieren** und mit **OK bestätigen**



3) Einstellungen

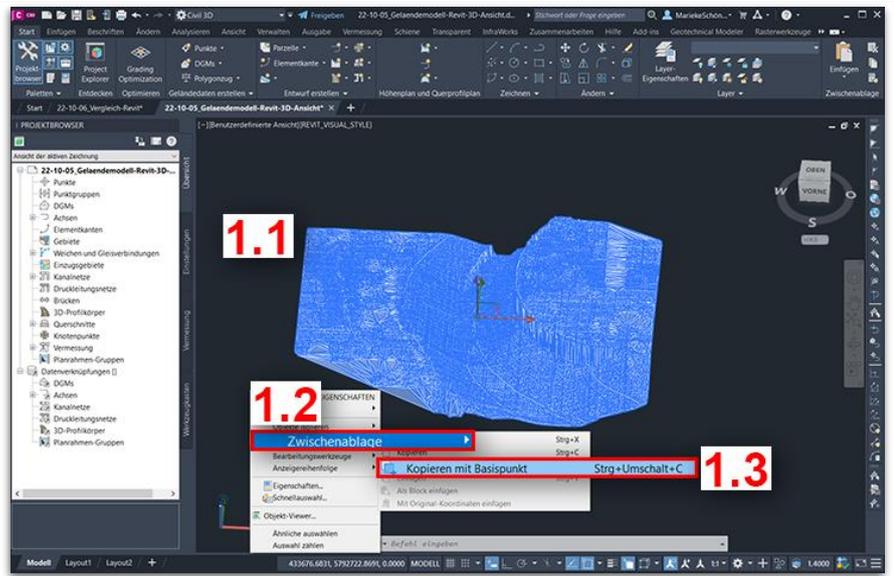
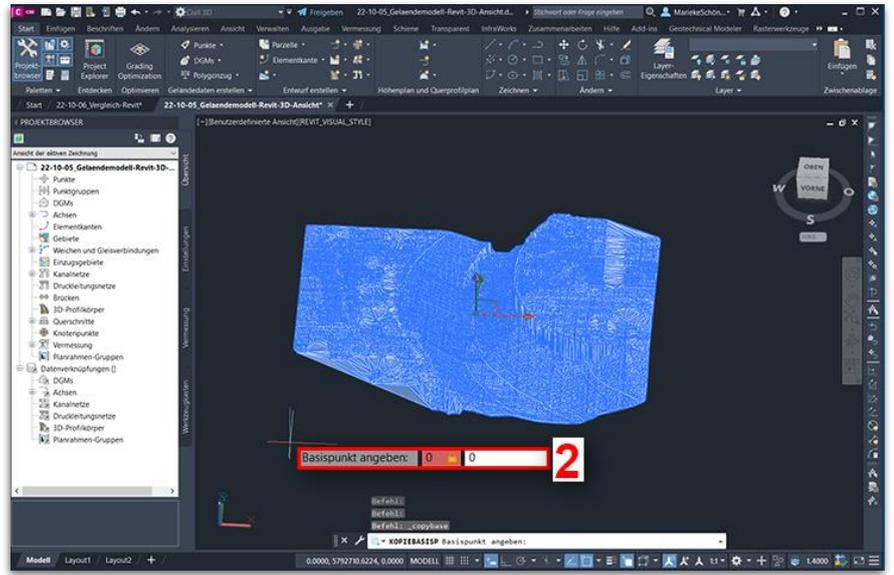
Das gewünschte **Koordinatenreferenzsystem** über die Liste *auswählen*, **Repair existing coordinate system** *auswählen* und mit **OK bestätigen**



9 WORKFLOW: TRIANGULIERTES MENGENMODELL IN AUTODESK CIVIL 3D ERSTELLEN

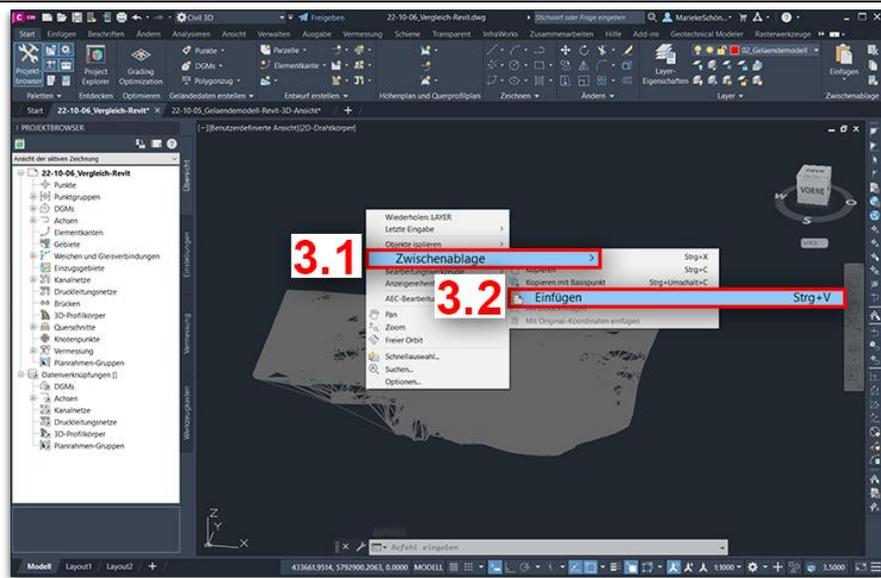
9.1 Geländemodell aus DWG-Objekt in Autodesk Civil 3D erstellen

Tabelle 36: Geländemodell aus DWG-Objekt in Autodesk Civil 3D erstellen. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Geländemodell kopieren</p> <p>DWG-Objekt in der Datei des Vergleich-DGMs <i>auswählen</i>, Rechtsklick über Zwischenablage den Befehl Kopieren mit Basispunkt auswählen</p>	
<p>2) Basispunkt angeben</p> <p>Für den Basispunkt die Werte 0,0,0 angeben und mit Enter bestätigen</p>	

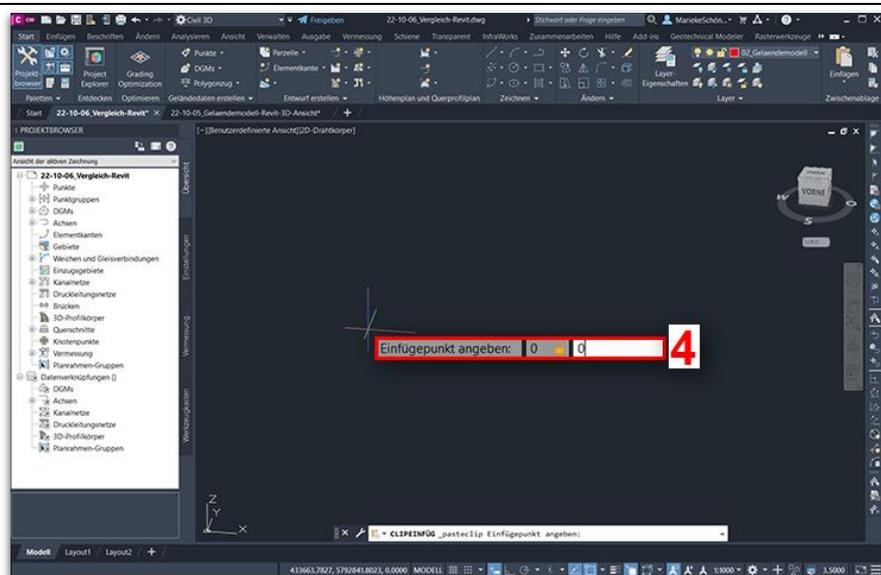
3) Geländemodell einfügen

In der Datei des Ursprungsgeländes über **Rechtsklick**, **Zwischenablage** den Befehl **Einfügen** auswählen



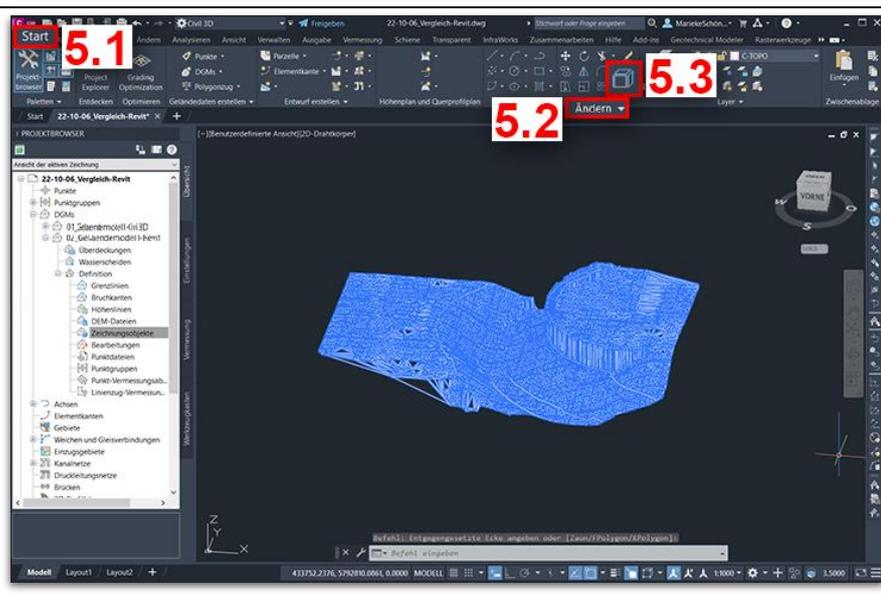
4) Einfügepunkt angeben

Als **Einfügepunkt** den Wert **0,0,0** angeben und mit **Enter** bestätigen



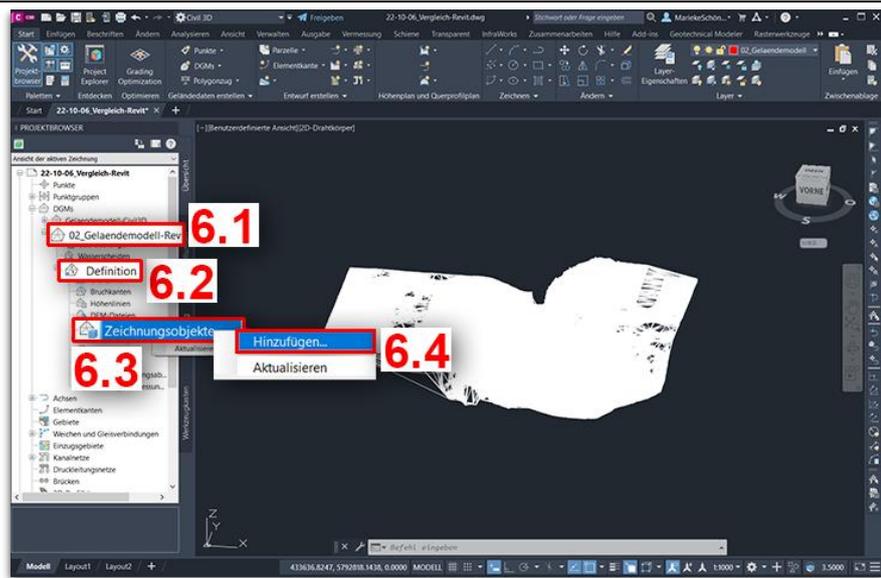
5) DWG-Objekt sprengen

Das importierte DWG-Objekt über den Reiter **Start** in der Gruppe **Ändern**, falls nötig, über den Befehl **Ursprung sprengen**



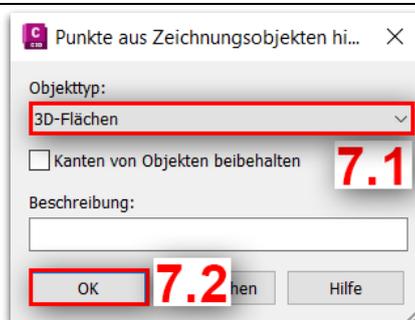
6) Geländemodell über Zeichnungsobjekte definieren

Über den Projektbrowser ein **Geländemodell erstellen** und über **Definition** und **Zeichnungsobjekt** den Befehl **Hinzufügen** ausführen



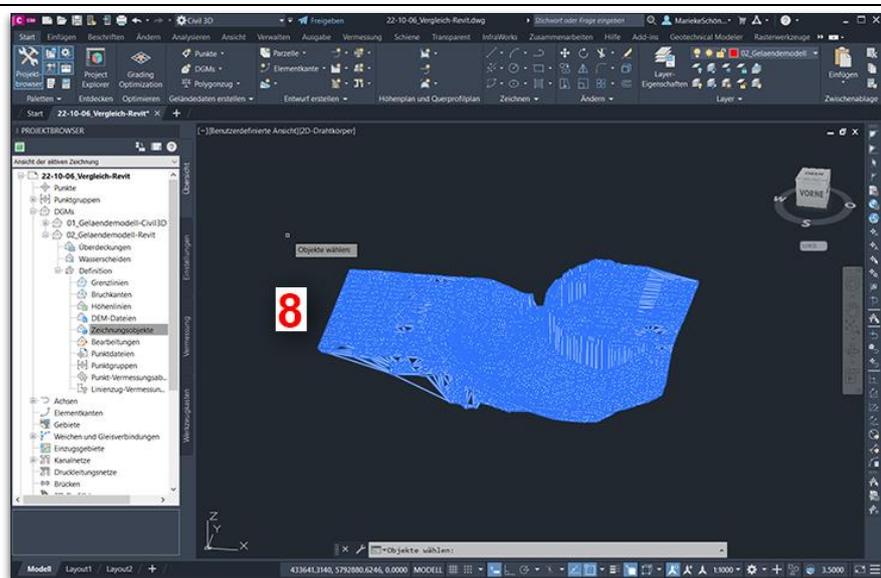
7) Objekttyp auswählen

Den passenden **Objekttyp** entsprechend des DWG-Objekts **auswählen** und mit **OK bestätigen**



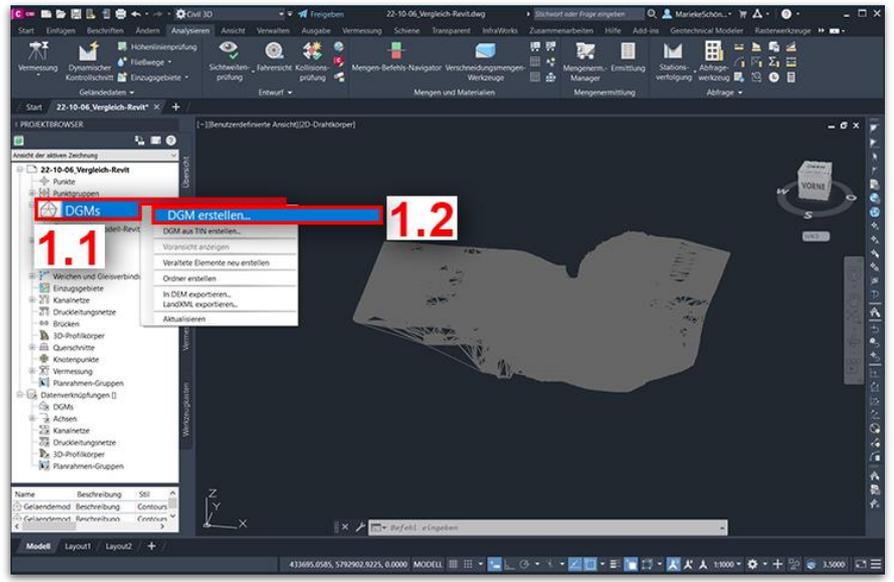
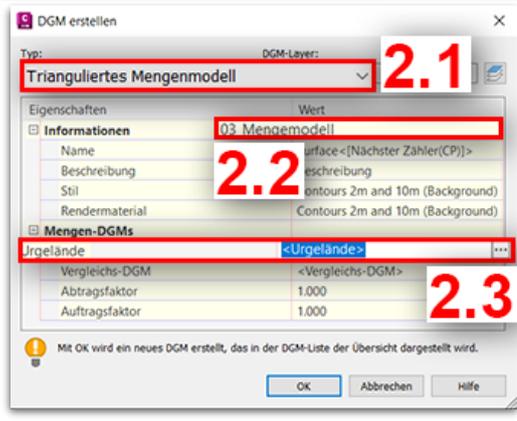
8) DGM Layer

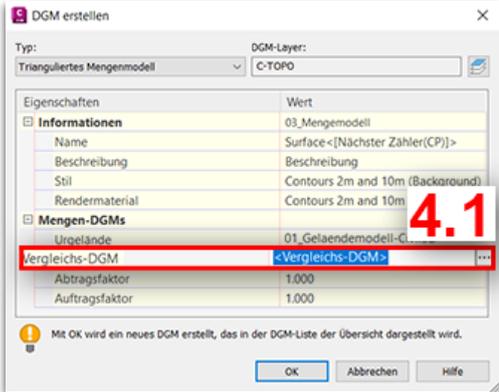
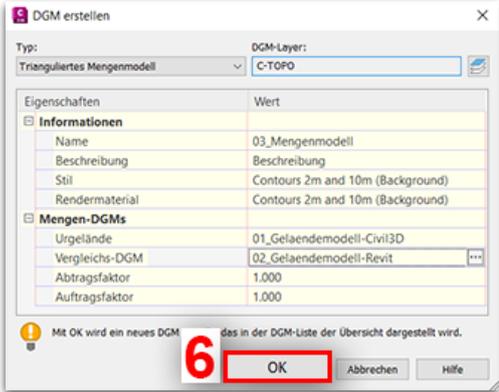
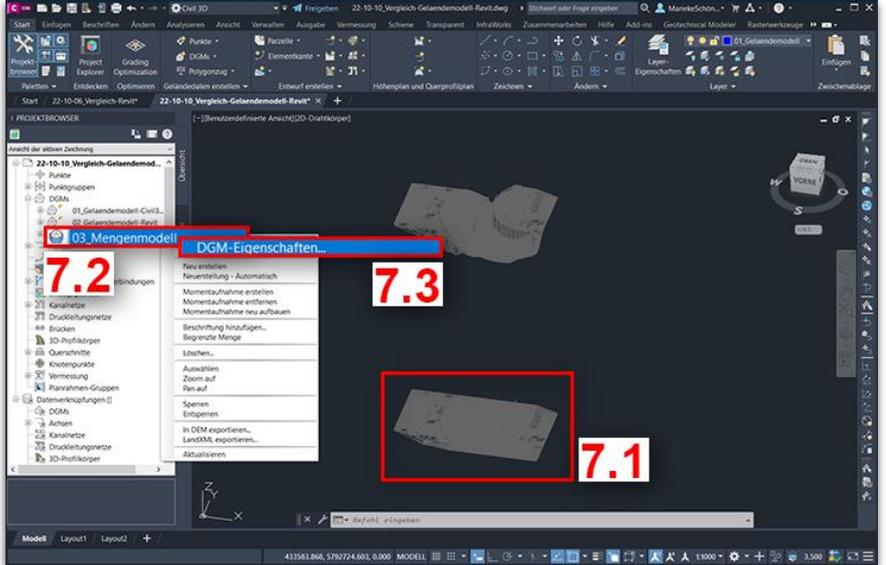
Erstelltes DGM auf eigenen **Layer legen** und **DWG-Objekt auswählen** und **löschen**



9.2 Trianguliertes Mengenmodell erstellen

Tabelle 37: Trianguliertes Mengenmodell erstellen. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>1) Neues DGM erstellen</p> <p>Über den Projektbrowser und <i>Rechtsklick</i> auf DGMs den Befehl DGM erstellen... aufrufen</p>	
<p>2) DGM erstellen</p> <p>Den Typ Trianguliertes Mengenmodell wählen, einen Namen vergeben und auf ... für Urgelände klicken</p>	
<p>3) Urgelände auswählen</p> <p>Das Urgelände auswählen und mit OK bestätigen</p>	

<p>4) Vergleichs-DGM</p> <p>Auf ... des Vergleichs-DGMs <i>klicken</i></p>	
<p>5) Vergleichs-DGM auswählen</p> <p>Das Vergleichs-DGM <i>anwählen</i> und mit OK <i>bestätigen</i></p>	
<p>6) DGM erstellen</p> <p>Das DGM mit OK <i>erstellen</i></p>	
<p>7) Eigenschaften aufrufen</p> <p>Das triangulierte Mengenmodell <i>erscheint</i>, über den Projektbrowser mit Rechtsklick auf das Mengenmodell die DGM-Eigenschaften <i>aufrufen</i></p>	

8) Mengenmodell Eigenschaften

Über den Reiter **Statistik** Informationen zum triangulierten Mengenmodell und dessen **Mengen erhalten**

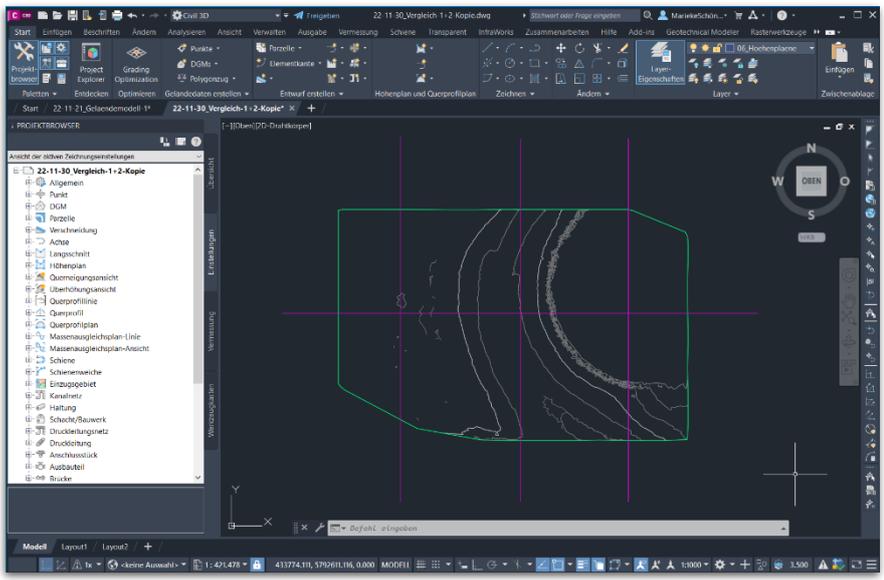
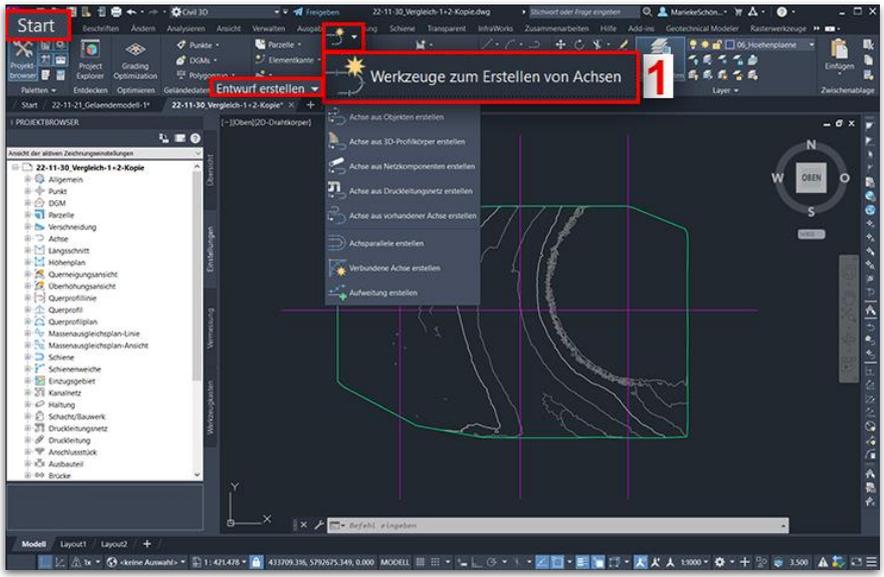
The screenshot shows the 'DGM-Eigenschaften - Surface3' dialog box with the 'Statistiken' tab selected. The dialog contains a table of statistics for a triangulated surface model. The table is organized into three main categories: 'Allgemein', 'TIN', and 'Menge'. Each category has a list of properties and their corresponding values.

Statistiken	Wert
Allgemein	
Revisionsnummer	0
Anzahl Punkte	429474
Mindestwert für X-Koordinate	433691.960m
Mindestwert für Y-Koordinate	5792617.234m
Höchstwert für X-Koordinate	433754.863m
Höchstwert für Y-Koordinate	5792659.075m
Mindesthöhe	-3.986m
Maximaler Höhenwert	3.986m
Mittlere Höhe	0.000m
TIN	
Anzahl Dreiecke	858791
Max. Dreieckfläche	10.40qm
Mindestwert für Dreieckfläche	0.00qm
Min. Dreieckslänge	0.001m
Max. Dreieckslänge	15.559m
Menge	
Urgelände	Gelaendemodell-Civil3D
Vergleichs-DGM	Gelaendemodell-Revit
Abtragsfaktor	1.000
Auftragsfaktor	1.000
Abtragsmenge (angepasst)	0.00 Kubikmeter
Auftragsmenge (angepasst)	0.00 Kubikmeter
Nettomenge (angepasst)	0.00 Kubikmeter<Auftrag>
Abtragsmenge (unangepasst)	0.00 Kubikmeter
Auftragsmenge (unangepasst)	0.00 Kubikmeter
Nettomenge (unangepasst)	0.00 Kubikmeter<Auftrag>

At the bottom of the dialog, there are four buttons: 'OK', 'Abbrechen', 'Anwenden', and 'Hilfe'.

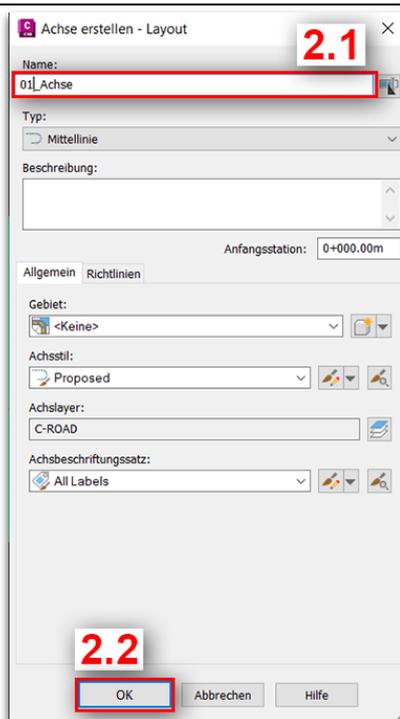
10 Workflow: Höhenplan in Autodesk Civil 3D erstellen

Tabelle 38: Workflow: Höhenplan in Autodesk Civil 3D erstellen. EIGENE DARSTELLUNG.

<p>0) Projektgrundlage</p> <p>Als Projektgrundlage wird die jeweilige Vergleichs-Datei mit Ur-gelände und Vergleichs-DGM genutzt, es sind Polylinien in Magenta eingezeichnet, anhand derer die Längsschnitte erstellt werden sollen</p>	
<p>1) Achsenwerkzeug</p> <p>Über den Reiter Start in der Gruppe Entwurf erstellen über Achse den Befehl Werkzeuge zum Erstellen von Achsen wählen</p>	

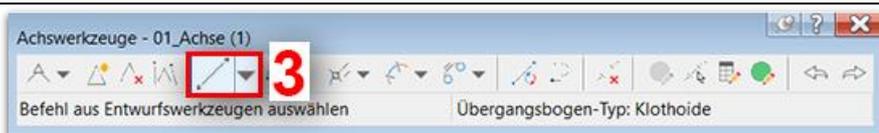
2) Achse erstellen

Einen **Namen** vergeben und mit **OK** bestätigen



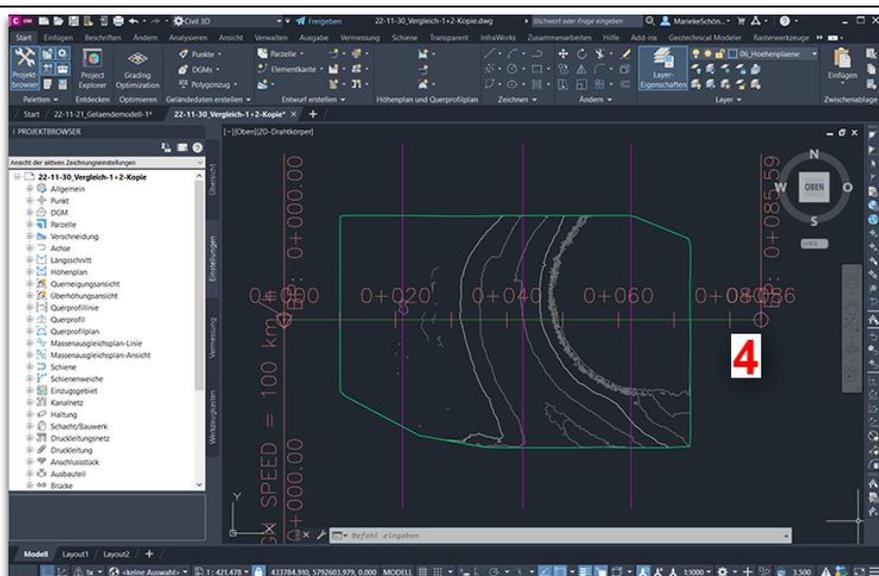
3) Festelement Gerade

Den Befehl **Festelement Gerade** zeichnen – zwei Punkte anklicken



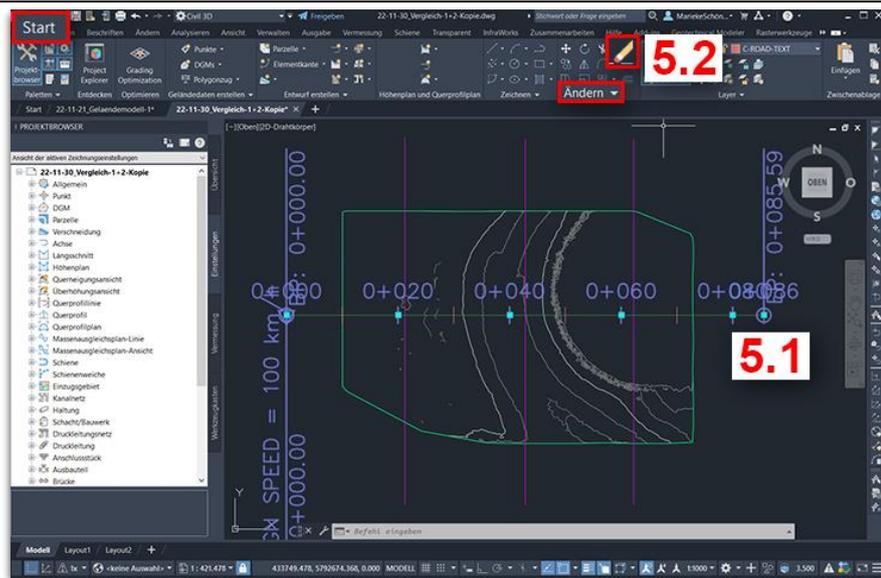
4) Achse definieren

Mit der Maus die **Endpunkte** der vordefinierten **Polylinie** anklicken und mit **Enter** bestätigen



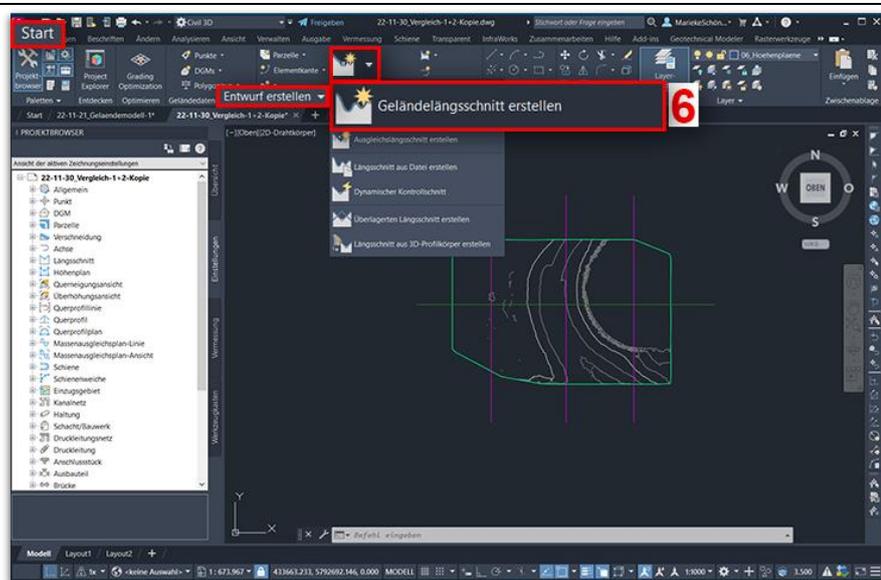
5) Beschriftung löschen

Achsenbeschriftung anwählen und über den Reiter **Start** in der Gruppe **Ändern** den Befehl **Löschen** anwählen



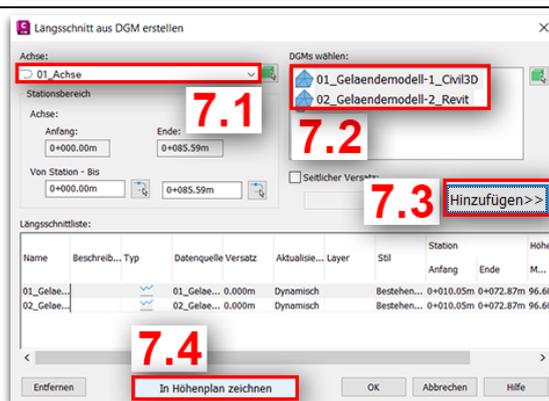
6) Längsschnitt erstellen

Über den Reiter **Start** in der Gruppe **Entwurf erstellen** über **Längsschnitt** den Befehl **Geländelängsschnitt erstellen** auswählen



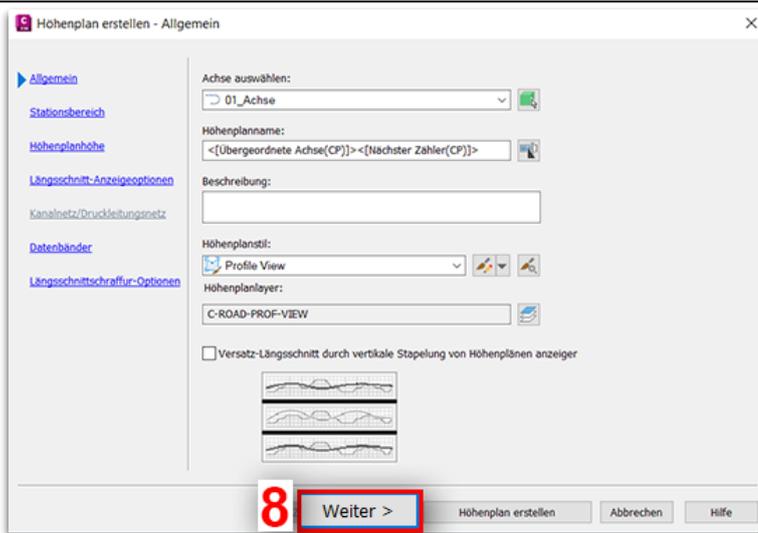
7) Einstellungen

Die soeben erstellte **Achse** auswählen, **Urgelände** und **Vergleichs-DGM** anwählen und **Hinzufügen** klicken, **In Höhenplan zeichnen** auswählen



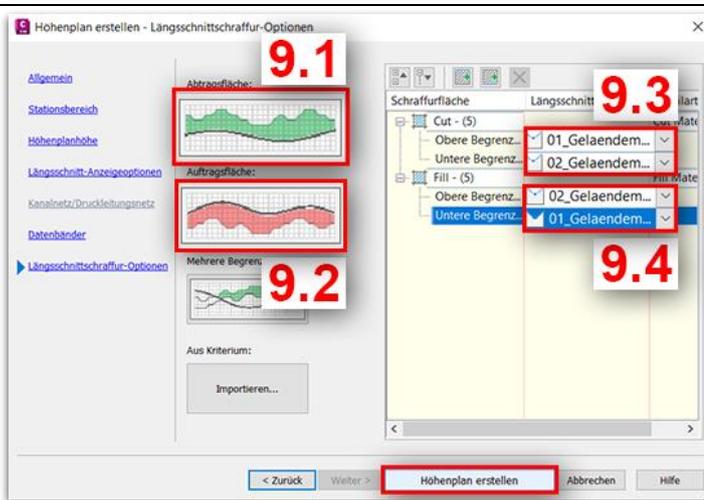
8) Einstellungen überspringen

Dieses und die folgenden vier Fenster mit **Weiter überspringen**



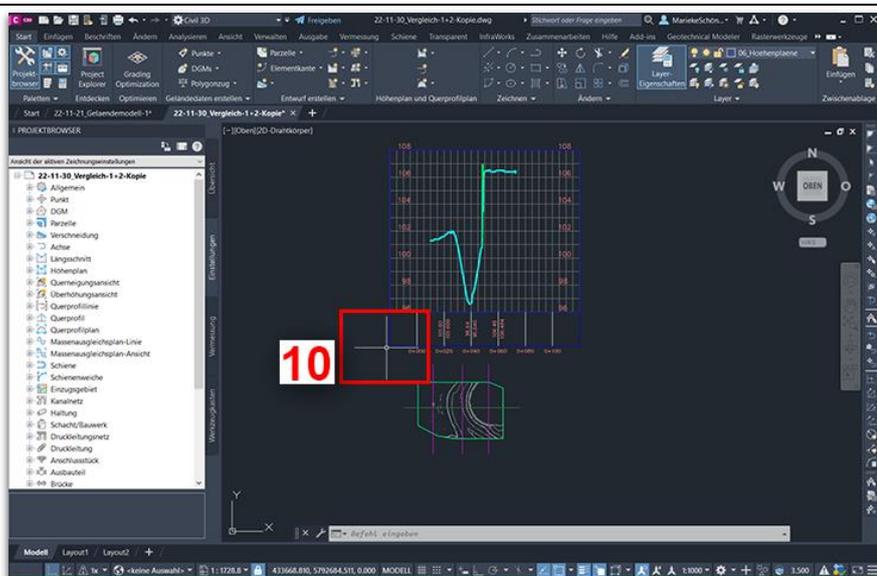
9) Schraffur Optionen

Abtragsfläche und **Auftragsfläche** auswählen, **DGMs** entsprechend auswählen und über **Höhenplan erstellen bestätigen**



10) Höhenplan ablegen

Den am Cursor hängenden **Höhenplan** über **Mausklick** im **Modellbereich** ablegen



ANHANG 2: DVD-INHALTE

DVD-Inhalte

Ordner	Inhalt
01_Masterarbeit	Masterarbeit_Schoenfeld-Marieke.pdf Anleitung-Verknuepfung-DGMs.pdf
02_Dateien → 00_Grundlagen → 01_Punktwolken-Botanischer-Garten	07_Botanischer_Garten.psx Nord2_neu3.psx steinbruch.psx
02_Dateien →00_Grundlagen →02_Geobasisdaten	LOD2_24325792_2_2020-10-06.gml NDS_Flurgrenzen.shp
02_Dateien → 01_CloudCompare-Punktdateien	2022-09-09_Punktwolke-Teilstueck-bereinigt.las 2022-09-09_Punktwolke-Teilstueck-bereinigt-0.5.txt 2022-09-09_Punktwolke-Teilstueck-bereinigt-0.5-auf-0.txt 2022-09-09_Punktwolke-Teilstueck-bereinigt-0.5-ohneRGB
02_Dateien → 02_Autodesk-Civil3D	Flurgrenzen+3D-Gebaeudemodell.dwg Gelaendemodell-1_Civil3D.dwg
02_Dateien → 03_Autodesk-Revit → 01_Shared-Reference-Point	MySharedRefPnt.xml
02_Dateien → 03_Autodesk-Revit → 02_Gelaendemodell-2_Revit	DWG-Export_Gelaendemodell-2_Revit.dwg Gelaendemodell-2_Revit.rvt
02_Dateien → 03_Autodesk-Revit → 03_Gelaendemodell-3_Revit	Block-fuer-Gelaendemodell-3_Revit.dwg DWG-Export-Gelaendemodell3_Revit.dwg Gelaendemodell-3_Revit.rvt
02_Dateien → 03_Autodesk-Revit → 04_Gelaendemodell-4_Revit	DWG-Export_Gelaendemodell-4_Revit.dwg Gelaendemodell-4_Revit.rvt
02_Dateien → 03_Autodesk-Revit → 05_Environment	Revit-Environment.rvt
02_Dateien →04_ArchiCAD	DWG-Export_Gelaendemodell-5_ArchiCAD.dwg Gelaendemodell-5_ArchiCAD.pln
02_Dateien → 05_Vectorworks → 01_Gelaendemodell-6_Vectorworks	DWG-Export_Gelaendemodell-6_Vectorworks.dwg Gelaendemodell-6_Vectorworks.vwx

02_Dateien → 05_Vectorworks → 02_Gelaendemodell-7_Vectorworks	DWG-Export-Gelaendemodell-7_Vectorworks.dwg Gelaendemodell-7_Vectorworks.vwx
02_Dateien → 06_BIMXPRT → 01_Gelaendemodell-8_BIMXPRT	Gelaendemodell-8_BIMXPRT.dwg
02_Dateien → 06_BIMXPRT → 02_Gelaendemodell-9_BIMXPRT	Gelaendemodell-9_BIMXPRT.dwg
02_Dateien → 07_Vergleiche	Vergleich-1+2 - Standard.zip Vergleich-1+3 - Standard.zip Vergleich-1+4 - Standard.zip Vergleich-1+5 - Standard.zip Vergleich-1+6 - Standard.zip Vergleich-1+7 - Standard.zip Vergleich-1+8 - Standard.zip Vergleich-1+9 - Standard.zip

SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

„Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.“

Ort, Datum

Unterschrift