

## Automatisierte Generierung eines digitalen Landschaftsmodells in 3D

GEORG FIUTAK<sup>1</sup>, CAROLINE MARX<sup>2</sup>, PHILIPP WILLKOMM<sup>1</sup>,  
ANDREAS DONAUBAUER<sup>2</sup> & THOMAS H. KOLBE<sup>2</sup>

*Zusammenfassung: Im Forschungsprojekt 3D-DLM, an dem sowohl der Runde Tisch GIS e. V. (in Zusammenarbeit mit der TU München und der Firma M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH als Projektbearbeiter), als auch die Länder Bayern und Baden-Württemberg beteiligt sind, erfolgt in der Demonstrationsphase der prototypische Aufbau eines konsistenten 3D Digitalen Landschaftsmodells für ein Testgebiet mit relevanter Größe. Dabei werden die in der Konzeptionsphase (MARX et al. 2017) festgelegten Objektklassen auf das DGM in LoD1 modelliert und um die amtlichen 3D-Gebäudemodelle ergänzt. Der Beitrag zeigt die notwendigen Schritte bis zur Modellierung eines 3D Digitalen Landschaftsmodells mittels des Open Source Tools „3Dfier“<sup>3</sup>; dabei wird sowohl auf die notwendige Vorverarbeitung der Daten eingegangen, als auch auf die anschließende Abbildung auf das CityGML-Datenmodell. Das Ergebnis wird einer Qualitätsbewertung unterzogen.*

### 1 Einleitung

Dreidimensionale Digitale Landschaftsmodelle nehmen aktuell eine immer größer werdende Bedeutung ein (COORS et al. 2016). Dies zeigt sich sowohl darin, dass es bereits eine Vielzahl an Anwendungsszenarien gibt, bei der die dritte Dimension berücksichtigt werden muss, als auch an den Aktivitäten einiger europäischer Staaten zur Überführung ihrer 2D-Geobasisdaten in die dritte Dimension (STOTER et al 2016).

Um dem zunehmenden Bedarf an Landschaftsmodellen in 3D gerecht zu werden und die Entwicklung dieser Thematik weiter voranzutreiben, wurde im Frühjahr 2016 der Runde Tisch GIS e.V. mit dem Projekt „3D-DLM“ (3D Digitales Landschaftsmodell) beauftragt.

In diesem Zusammenhang sei kurz erwähnt, dass ein 3D-DLM über ein einfaches 2,5-dimensionales DLM hinausgeht. Werden beim 2,5-DLM die Objekte aus dem 2D-DLM lediglich dem Geländeverlauf (DGM bzw. DOM) angepasst, so umfasst ein 3D-Landschaftsmodell zusätzlich auch als dreidimensionale Körper repräsentierte künstliche Strukturen (Gebäude, Brücken, Dämme, u. v. m.) und natürliche Objekte, wie z. B. Vegetationsobjekte. Einen Schritt weiter geht das semantische 3D-Landschaftsmodell: Hierbei sind alle Objekte nach thematischen und funktionalen Aspekten strukturiert; d. h. die Objekte werden nach logischen Kriterien in ihre Bestandteile zerlegt (ein Gebäude besteht z. B. aus einem Dach und Wänden; eine Straße aus der Fahrbahn und den Seitenrinnen) und nicht etwa nach Visualisierungsaspekten (KOLBE 2009).

---

<sup>1</sup> M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, Hohenbrunner Weg 13, D-82024 Taufkirchen,  
E-Mail: [gfiutak, pwillkomm]@moss.de

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Geoinformatik, Technische Universität München, Arcisstraße 21, D-80333 München,  
E-Mail: [caroline.marx, andreas.donabauer]@tum.de

<sup>3</sup> <https://github.com/tudelft3d/3dfier>

Die Auftraggeber der zweiten Phase des Projekts (Demonstrationsphase) sind die Bodenseeanrainer Bayern (Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern - LDBV) und Baden-Württemberg (Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg - LGL).

Im vorliegenden Beitrag werden die Resultate dieser Demonstrationsphase dargestellt. Der Abschlussbericht zur vorausgegangenen Konzeptionsphase findet sich unter: [https://rundertischgis.de/images/2\\_publicationen/stud\\_berichte/3D-DLM%20-%20Abschlussbericht.pdf](https://rundertischgis.de/images/2_publicationen/stud_berichte/3D-DLM%20-%20Abschlussbericht.pdf).

Die Demonstrationsphase umfasst die Arbeitspakete „Vorverarbeitung der Daten“, „Anwendung des 3Dfiers auf die Daten“, „Abbildung auf das CityGML-Datenmodell“, „Qualitätsbewertung der erzeugten 3D-Objekte mittels statistischer Methoden“ und „Bereitstellung der Ergebnisdaten“.

## 1.1 Testgebiet

In Absprache zwischen dem LGL und dem LDBV wurde ein Projekt-Testgebiet im Grenzbereich zwischen Baden-Württemberg und Bayern festgelegt. Das Gebiet nordöstlich vom Bodensee umfasst 254km<sup>2</sup>; die genaue räumliche Lage und Ausdehnung kann den folgenden Abbildungen entnommen werden.



Abb. 1: Umfang des Testgebiets

## 1.2 Verwendete Software

Für die Umsetzung der Demonstrationsphase wurde sich für das bestehende Programm 3Dfier entschieden. Dies ist ein Open Source Tool zur Erzeugung von 3D-Objekten aus 2D-DLM und

LIDAR Punktwolken, das an der TU Delft in den Niederlanden entwickelt wurde und für eine ähnlich gelagerte Aufgabe in den Niederlanden eingesetzt wird. Detailinformationen zu diesem Werkzeug finden sich unter <https://github.com/tudelft3d/3dfier>.

Das Grundprinzip des 3Dfier illustriert die folgende Abbildung:

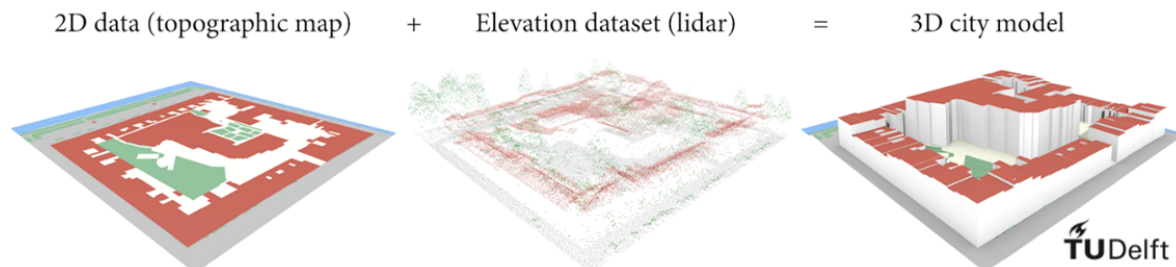


Abb. 2: Funktionsweise 3Dfier

Basierend auf seiner Semantik wird jedes Polygon des zu Grunde liegenden 2D-Datenbestandes mittels angepasster Methoden in die dritte Dimension angehoben. Dabei kommen unterschiedliche Regeln je nach anzuhebender Objektklasse zur Anwendung. Dieses Regelwerk berücksichtigt auch die Semantik der Nachbarschaftsbeziehungen von Polygonen unterschiedlicher Objektklassen.

Ergebnis und Ziel der Anwendung ist ein trianguliertes Digitales Landschaftsmodell in 3D.

## 2 Vorverarbeitung der 2D Eingangsdaten

Für die Anwendung der Software 3Dfier ist es erforderlich, dass die zweidimensionalen Eingangsdaten lückenlos und überlappungsfrei vorliegen. Eine Ausnahme bilden dabei die Brücken, da sich diese über dem eigentlichen Gelände befinden und dort somit Überlappungen mit den darunter liegenden Objekten auftreten.

### 2.1 Herausforderungen

Ausgangsdaten für die Erzeugung des 3D Digitalen Landschaftsmodells sind die ALKIS- und ATKIS-Daten der Auftraggeber. Viele dieser Daten liegen lediglich linienhaft vor. Dies erfordert eine entsprechende Pufferung um standardisierte bzw. klassifizierte Werte ausgehend von den ATKIS-Attributen. Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass sich die Geometrien der einzelnen Objektarten teilweise gegenseitig überlagern. Dies trifft beispielsweise für den linienhaften Verlauf der Straßen oder von Flüssen innerhalb eines Wald-Polygons zu. Dies verdeutlicht die Gegenüberstellung der beiden unteren Abbildungen. Die Straßen (rot), die Wege (gelb) und die Flüsse (blau) zerschneiden einige der Waldpolygone. Dies macht es einerseits erforderlich, dass die neu entstehenden Teilflächen des ursprünglichen Waldpolygons den Bezug zu diesem nicht verlieren; d.h. nach dem Zerlegen eines Wald-Polygons in mehrere kleine Objekte, müssen diese mittels der ursprünglichen ID zu der Geometrie MultiSurface aggregiert werden. Andererseits müssen für die Pufferung der linienhaft vorliegenden Fluss- und Straßenachsen Teile der Waldflächen entsprechend freigestellt werden.

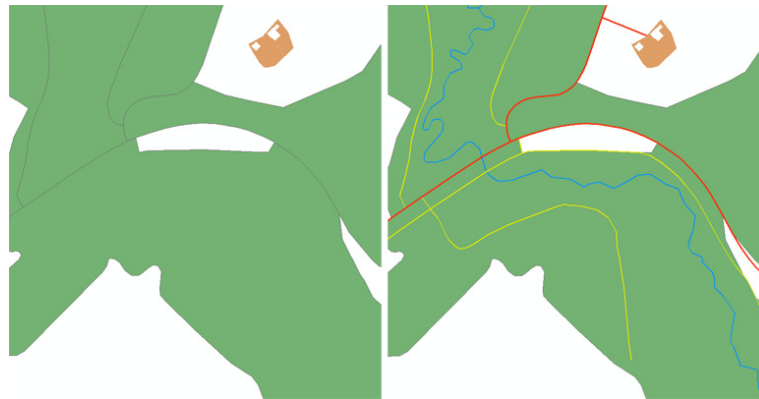


Abb. 3: Auftrennen von Waldflächen

## 2.2 Allgemeines Vorgehen

Zunächst werden alle relevanten Objektarten einzeln betrachtet und entsprechend aufbereitet. Dies umfasst unter anderem die Filterung, Pufferungen um definierte Werte oder die Erzeugung zusätzlicher Attribute. Da als Resultat der Pufferung von Linienobjekten sich diese neu erzeugten Polygone mit den benachbarten Flächen überlagern, müssen diese in einem nächsten Schritt freigestellt werden. Dadurch liegen in der Ebene alle Objekte überlappungsfrei vor. Schließlich erfolgt die Erzeugung der Terrain-Flächen dadurch, dass die bisher noch vorhandenen Lücken als Terrain-Objekte deklariert werden.

## 2.3 Betrachtung der einzelnen Objektarten

Im 3Dfier müssen die ALKIS- und ATKIS-Daten auf eine der folgenden Objektklassen abgebildet werden:

- Building
- Terrain
- Road
- Water
- Forest
- Bridge
- Separation

Es folgt die Betrachtung der Aufbereitung der einzelnen Objektarten und ihrer Zuordnung zu den entsprechenden Objektklassen des 3dfier.

### 2.3.1 Building

Die vom 3Dfier erzeugten Gebäudemodelle sollen im Nachgang durch die vorhandenen LoD2-Gebäudemodelle der Auftraggeber ersetzt werden. Für eine korrekte Triangulation der an die Gebäude angrenzenden Polygone müssen dennoch zunächst die entsprechenden Gebäude-Grundflächen in den Workflow zur automatischen 3D-DLM Erzeugung eingehen. Daher werden für die Umsetzung die Grundrisse der LoD2-Gebäudemodelle verwendet.

### 2.3.2 Bridge

Als Grundlage für die Aufbereitung der Brücken-Objekte dienen Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen für den Verkehr (MARX et al. 2017).

Sowohl die flächenhaft, als auch die linienhaft vorliegenden Bauwerke werden mittels der Bauwerksfunktion BWF gefiltert. Dadurch werden Objekte herausgefiltert, die Tunnel, Schutzgalerien, Schleusenkammern oder Durchfahrten darstellen.

Die Geometrie der flächenhaften Brückenobjekte kann dabei direkt übernommen werden. Die linienhaften Brückenobjekte werden zusätzlich um die Mittelachse gepuffert. Da keine Angaben über die Breite der Brücken vorhanden sind und außerdem diese der Breite der anschließenden Straßenbreiten entsprechen sollen, werden diese Breiten für die Pufferung übernommen.

Nach Rücksprache mit den Auftraggebern wurde sich außerdem darauf verständigt, dass die Straßen an den Brückenobjekten nicht unterbrochen werden sollen, sondern diese auch zusätzlich zur Brücke dargestellt werden sollen. Dadurch ist es beispielsweise leichter möglich, die Gesamtfläche einer Straße zu berechnen.

### 2.3.3 Road

#### Straßenverkehr

Da die flächenhaft vorliegenden Objekte des Straßenverkehrs nicht nur die eigentlichen Fahrbahnen darstellen, sondern zusätzlich beispielsweise auch Verkehrsbegleitflächen, werden diese entsprechend gefiltert und nicht weiter als Straßenobjekte behandelt.

Außerdem ist zu beachten, dass sich flächenhaften Straßen und Straßenachsen teilweise überlagern. In diesem Fall werden die bereits vorhandenen Straßenflächen übernommen und lediglich die Achsen gepuffert, die keine Überlappung aufweisen.

#### Wege

Bei den Wegen erfolgt die Pufferung ebenfalls über die Breite der Fahrbahn und der entsprechenden Klassenkategorie.

#### Gleise

Um die Gleise zu bearbeiten, erfolgt zunächst eine Filterung über das Attribut BKT (Bahnkategorie). Somit lassen sich zum Beispiel Seilbahnen herausfiltern.

### 2.3.4 Water

Auch im Bereich der Gewässer-Objekte liegen diese flächenhaft und linienhaft vor. Die flächenhaften Objekte können direkt übernommen werden. Die linienhaft vorliegenden Gewässerobjekte werden mittels der Breite des Gewässers (BRG), die wiederum durch Klassen repräsentiert werden, gepuffert.

### 2.3.5 Forest

Um unerwünschte Überlagerungen zu vermeiden, müssen die folgenden Objektarten in den Wald-Polygonen freigestellt werden:

- Brücken
- Gewässer
- Straßen
- Wege
- Gleise



Abb. 4: Freistellung Wald

### 2.3.6 Sonstige Objektarten

Neben den bereits beschriebenen Objektarten, die sich eindeutig einer Klasse des 3Dfiers zuordnen lassen, gibt es in den ALKIS- und ATKIS-Daten noch weitere Objektarten, die bei der Erzeugung des 3D-Landschaftsmodells berücksichtigt werden sollten. Diese werden zunächst einer geeigneten 3Dfier-Klasse zugeordnet und im anschließenden Mapping der passenden CityGML-Klasse zugewiesen.

Tab.1: Zuordnung Sonstiger Objektarten

Objektart	3Dfier	CityGML
Landwirtschaft	TERRAIN	LandUse
Bauwerke oder Anlagen für Sport, Freizeit und Erholung	BUILDING	LandUse
Bauwerke oder Anlagen für Industrie und Gewerbe	BUILDING	LandUse
Flugverkehr	TERRAIN	LandUse
Übrige Objektarten der Vegetation außer Wald und LWS	TERRAIN	LandUse

### 2.3.7 Terrain

Die Klasse „Terrain“ wird nicht auf Grundlage vorhandener ATKIS-Daten erzeugt. Vielmehr werden die nach der Daten-Vorverarbeitung noch vorhandenen ‘Lücken‘ durch Flächen aufgefüllt, die der Klasse „Terrain“ zugewiesen werden. Da unter den Brücken-Objekten Gelände dargestellt werden soll, werden die Flächen, die durch die Brücken repräsentiert werden, ebenfalls zusätzlich dem Terrain zugewiesen.

## 3 Anwenden des 3Dfiers

### 3.1 Eingangsdaten

Der 3Dfier erfordert zwei Arten von Eingangsdaten. Zunächst sind dies lückenlose, flächenhafte 2D-Daten im ESRI-Shape-Format, welche die Landschaft beschreiben und den Objektklassen des 3Dfiers zugeordnet sind (s. Kapitel 2.3).

Des Weiteren ist eine die Oberflächenstruktur (DOM) wiedergebende Punktwolke (LAS/LAZ) erforderlich, die mindestens die folgenden Klassen aufweist:

- 0-1: Created, never classified and / or unclassified
- 2: Ground
- 3-5: Vegetation

## 3.2 Ergebnisdaten

Neben CityGML stehen noch die Ausgabeformate OBJ, CSV (nur Gebäude), Shapefile und PostGIS zur Verfügung. Die Tests wurden mit den Ausgabeformaten CityGML (für die semantische Weiterverarbeitung im Projekt) und OBJ (für Testvisualisierung und visuelle Qualitätsbewertungen) durchgeführt.

## 3.3 Umsetzung

Die Umsetzung und damit die konkrete Anwendung des 3Dfiers im Rahmen dieses Projektes wurde mit den im Vorfeld aufbereiteten ALKIS- und ATKIS-Daten, sowie den zur Verfügung gestellten 3D-Punktwolkendaten (LIDAR) der Auftraggeber durchgeführt (MARX et al. 2017). Die gesamte Steuerung des 3Dfiers erfolgt über eine Konfigurationsdatei. Dabei handelt es sich um eine reine ASCII-Datei, die auch einfach über ein Steuerprogramm erzeugt werden kann. Damit eignet sich der 3Dfier sehr gut für die Einbindung in automatisierte rein batchorientierte und auftragsgesteuerte Prozesse, wie sie bei der Verarbeitung von Massendaten in der Praxis zur Anwendung kommen.

### 3.3.1 Prozessierung

Der Umsetzungsprozess erfolgt in 4 Einzelschritten:

1. Einlesen der Konfigurationsdatei und Prüfung auf korrekte Syntax
2. Analyse der Polygone und ggf. Aufbereitung (auflösen von Multipolygonen, bereinigen von Selbstüberschneidungen)
3. Einlesen der Punktwolke; dies ist der zeitintensivste Prozess und macht ca. 90% der Gesamtzeit aus, abhängig von der Punktdichte
4. Erzeugung des 3D-Modells

### Parallelisierung

Vor dem Hintergrund einer landesweiten Umsetzung wurde im Rahmen des Projektes untersucht, in wie weit sich die Anwendung des 3Dfiers parallelisieren lässt und welche Einsparungseffekte bzgl. Laufzeit durch eine solche Parallelisierung erreichbar wären.

Die Architektur und Prozesslogik des 3Dfiers lässt eine Parallelprozessierung mit einfachen Mitteln zu. Allerdings sind für das notwendige Vernähen der entstehenden Teilgebiete des 3D-DLM Vorkehrungen im Prä- und Postprocessing zu treffen.

Um eine parallelisierte Produktion zu simulieren, wurde das Testgebiet in annähernd gleich große Gebiete unterteilt und diese wiederum gleichmäßig fünf Parallelprozessen zugeordnet.

Die Durchführung erfolgte auf einem Rechner mit den folgenden Merkmalen:

Operating System:	Microsoft Windows 7 Professional (x64)
CPU:	Intel(R) Core(TM) i7-4712MQ CPU @ 2.30GHz
Number of CPU Cores:	4
Number of Logical CPUs:	8
Total Memory Size [MB]:	8192

### Vergleich Gesamtumsetzung / Parallelisierung

(254 km<sup>2</sup>, 296 LIDAR-Kacheln á 1 km<sup>2</sup>, Ø Punktabstand 1,2 m):

Komplettumsetzung: 110 Minuten

Gebiete in 5 Parallelprozessen: 27 Minuten

Mit der Aufteilung in Gebiete, die hinsichtlich der verfügbaren IT-Infrastruktur (Prozessoren, Hauptspeicher, Plattendurchsatz) optimiert portioniert werden und der daraus resultierenden Parallelisierung der Prozesse kann somit ein deutlicher Geschwindigkeitszuwachs erreicht werden.

### 3.3.2 Prozessanalyse

Der Umsetzprozess bietet eine Reihe von Konfigurationsmöglichkeiten zur Steuerung der Umsetzung. Je nach Objektart haben diese unterschiedlichen Auswirkungen und auch die Kachelränder erfordern eine intelligente Vorverarbeitung der Daten.

#### Ausdünnung der Punktwolke

Über den Konfigurationsparameter *thinning* kann die Punktwolke zur Laufzeit ausgedünnt werden. Damit kann die Laufzeit bei besonders hoher Punktdichte erheblich verringert werden.

Allerdings führt eine zu geringe Punktdichte zu Geometriefehlern bzw. semantisch nicht korrekten Ergebnissen wie unruhigen Straßenoberflächen.

Von der Anwendung des Parameters *thinning* ist daher im aktuellen Softwarestand abzuraten.

#### Triangulation reduzieren (simplification)

Die Oberflächen der Objektklassen *Forest* und *Terrain* werden direkt aus der Punktwolke abgeleitet und trianguliert. Die Oberflächen-Triangulation des Ergebnisobjekts kann über den Parameter *simplification* beeinflusst werden. Durch Anwendung dieses Parameters kann zu einem die Dateigröße reduziert werden (gerade bei der Erzeugung von CityGML), zum anderen wird aber natürlich auch das Ergebnis generalisiert.

Bei der Objektklassen *Forest* kann der Detailgrad der Umsetzung je nach Anwendungsfall von niederrangiger Bedeutung sein, dient er doch im Wesentlichen ‚nur‘ zur groben Visualisierung.

Umso mehr hat dieser Wert aber bei der Visualisierung des DGM eine Bedeutung, da es hier auf eine möglichst exakte Wiedergabe ankommt, welche dann aber zu einer erheblich größeren Ergebnisdatei führen kann.

Da aber in der Praxis für die betrachtete Projektregion ein hochgenaues und hochauflösendes DGM bereits existiert, ist das durch den 3Dfier erstellte DGM nur als Zwischenergebnis zu betrachten und dieses sollte in der Folge in Form eines Postprozesses durch das erwähnte existierende DGM ersetzt werden. Daher kann der Parameter „simplification“ zur Prozessbeschleunigung empfohlen werden.

#### Gebietsrand

Beim Vernähen von Kacheln muss darauf geachtet werden, dass am Gebietsrand angrenzende Flächen in 2-facher Nachbarschaft zur Randberechnung mit einbezogen werden, da es sonst zu Kachelrandfehlern in Form virtueller Wände kommt.



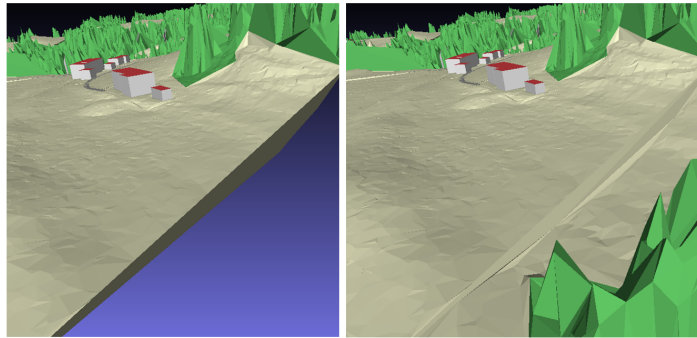


Abb. 5: Kachelrandfehler

## 4 Abbildung auf CityGML-Modell

### 4.1 Semantisches Mapping

Da vom 3Dfrier nur die Klassen Building, Bridge, Road, Water, Forest, Terrain und Separation erzeugt werden, ist im Nachgang eine Semantische Transformation bzw. eine Anpassung entsprechend der Mapping-Tabelle aus Projektphase 1 (MARX et al. 2017) notwendig, um ein möglichst feingranulares CityGML-Modell zu erhalten.

So werden beispielsweise die Gleise, die nach Anwendung des 3Dfriers auf die thematische Klasse Road abgebildet wurden, im Zielmodell wieder in Klasse Railway abgebildet. Sportanlagen, die zunächst als Building abgebildet wurden (da die Oberfläche der sportlichen Anlagen als ebene Fläche dargestellt werden sollten), werden im anschließenden Mapping auf die Klasse LandUse abgebildet.

#### 4.1.1 Mapping der Attribute

Alle Attribute der ATKIS-Daten werden entsprechend des CityGML-Standards überführt. Für den Fall, dass es für ein Attribut der ATKIS-Daten kein passendes Pendant im CityGML-Standard gab, wurden diese Informationen als generische CityGML-Attribute überführt.

### 4.2 Geometrie

Alle Klassen wurden als MultiSurfaces im LoD1 modelliert. Lediglich die im Nachgang eingefügten Gebäudemodelle des LDBV und des LGL liegen im LoD2 vor.

### 4.3 Zusätzliche Transformationen

#### 4.3.1 Setzen des korrekten Koordinatensystems

Die CityGML-Daten werden vom 3Dfrier aktuell im EPSG:7415 (Niederländisches Bezugssystem) ausgegeben. Dies erfordert es, dass im Nachgang das korrekte Koordinatensystem (EPSG:31468) gesetzt wird.

#### 4.3.2 Einfügen zusätzlicher Attribute

Neben den in den ATKIS-Daten vorhandenen Attributen werden zusätzliche Attribute erzeugt. Dies sind zum einen die beiden generischen Attribute *min\_Hoehe* und *max\_Hoehe*. Das

Speichern der minimalen und maximalen absoluten Höhe als Attribut ist deshalb sinnvoll, weil mittels dieser Attribute in einfachen Viewern räumliche Selektionen ausgeführt werden können. Zum anderen wird für jedes Objekt die Fläche berechnet und im Attribut *Flächeninhalt* abgespeichert. Dies kann dann sinnvoll sein, wenn man beispielsweise für Bauarbeiten an Straßen wissen muss, wie groß die Oberfläche eines Straßenabschnitts ist.

## **5 Austausch von Objektarten**

### **5.1 Gebäude**

Für das dreidimensionale Landschaftsmodell sollen die original LoD2-Gebäudemodelle, die vom LDBV und LGL bereitgestellt wurden genutzt werden. Da für die Anwendung des 3Dfiers dennoch zunächst eine lückenlose Flächenabdeckung vorliegen muss, müssen die mittels des 3Dfiers erstellten Klötzchenmodelle im Nachgang mit den LoD2-Gebäudemodellen ausgetauscht werden.

### **5.2 Wald**

Nach Absprache mit den Auftraggebern sollte statt der durch den 3Dfier erzeugten Vegetationsobjekte die Waldfläche besser lediglich über das Gelände gebogen werden und diese Flächen mit der entsprechenden Punktwolke verlinkt werden.

### **5.3 DGM**

Durch den 3Dfier wird ausgehend von den 2D-Polygonen „Terrain“ (dies entspricht den vorhandenen Lücken in den aufbereiteten 2D-Daten) ein neues DGM erzeugt. Da sowohl für das LDBV, als auch für das LGL amtliche hochaufgelöste DGM-Daten vorliegen, sollte statt des erzeugten Terrains dieses DGM genutzt werden.

## **6 Qualitätsbewertung**

### **6.1 Umgang mit Inkonsistenzen in Eingangsdaten**

Generell ist der 3Dfier tolerant gegenüber inkonsistenten Eingangsdaten, das Ergebnis ist dann gegebenenfalls lokal unbefriedigend. Das Programm ist daher für ein iteratives Vorgehen auf Basis von nur teilweise korrekten Eingangsdaten gut geeignet. Im Folgenden wird auf den Umgang des 3Dfiers mit üblichen Datenfehlern eingegangen.

#### **6.1.1 Nicht freigestellte Objekte**

Nicht freigestellte Objekte in 2D (z.B. Straße in Wald) führt zu Überlappungen, im schlimmsten Fall zu Triangulierungsfehlern. Die korrekte Aufbereitung der 2D-Ausgangsdaten im Sinne der vom 3Dfier vorgegebenen Randbedingungen ist daher essentiell für die Ergebnisqualität.

#### **6.1.2 Lücken in der Punktwolke**

Lücken in der Punktwolke (zum Beispiel unter Brücken) führen zu Fehlern im 3D-DLM. Der 3Dfier erscheint sehr sensibel gegenüber Datenlücken, wie sie in der Praxis naturgemäß in 3D-Punktwolken vorkommen. Bei Anwendung der aktuellen Version des 3Dfiers ist daher ein

Präprozess sinnvoll, der solche Datenlücken über einfache Interpolationsprozesse oder durch Nutzung des vorhandenen DGMs auffüllt. Dabei können aber naturgemäß nur konkrete Lücken, wie z.B. unter Brücken behandelt werden.

### 6.1.3 Inkonsistenzen in 2D-Ausgangsdaten

Inkonsistenzen in 2D-Ausgangsdaten (Polygone) werden vom 3Dfrier soweit möglich korrigiert, z.B. Multipolygone, Selbstüberschneidungen.

### 6.1.4 Lücken im 2D-Datenbestand

Der 3Dfrier toleriert bei der 3D-DLM-Erzeugung Lücken im 2D-Datenbestand, es kommt nicht zum Abbruch. Das Ergebnis beinhaltet aber naturgemäß entsprechende Lücken im 3D-DLM.

## 6.2 Verwendung von unklassifizierten Punktwolken

Die Verwendung eines (unklassifizierten) bDOM ist zwar technisch möglich, aber faktisch nicht sinnvoll. Der 3Dfrier setzt bei den verwendeten LAS-Daten klassifizierte Bodenpunkte voraus. Eine klassifizierte Vegetation wird empfohlen, um Gebäudehöhen exakter abbilden zu können und das Terrain sauberer abzubilden, ist aber nicht zwingend notwendig.

So zieht zum Beispiel die Klasse Road die Höheninformation nur aus den Bodenpunkten (Class 2: Ground). Wurden keine Bodenpunkte klassifiziert, werden die Objekte dieser Klasse mit der Höhe 0 versehen.

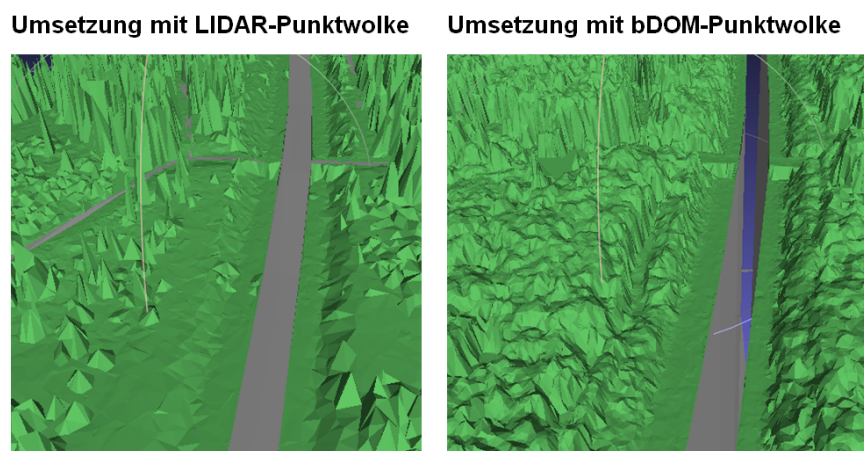


Abb. 6: Vergleich Umsetzung LIDAR / bDOM

## 6.3 Betrachtung der einzelnen Objektarten

Im Folgenden werden die einzelnen Objektarten hinsichtlich ihrer Qualität betrachtet und auf mögliche Ansätze zur Vermeidung von Fehlern eingegangen.

### 6.3.1 Building

Grundlage für die Umsetzung ist die für die amtliche LoD Erzeugung verwendeten Grundrisse (ALKIS). Die Erzeugung im Rahmen des 3Dfriers ist wegen Nachbarschaftsbeziehungen

notwendig und erfolgt immer in LoD1. Im Postprozess werden dann die erzeugten LoD1-Modelle durch amtliche LoD2-Modelle ersetzt.

Um Lücken im 3D-DLM-Modell zu vermeiden, muss die Lage der verwendeten amtlichen 3D-Gebäuden exakt den für den 3Dfrier-Lauf verwendeten Grundrissen entsprechen. Kritisch können die unterschiedlichen Zeitpunkte zwischen Modellerzeugung und 3Dfrier-Lauf sein.

Für die nahtlose Integration des amtlichen 3D-Modells in das umgebende Gelände ist die Verwendung des amtlichen DGMs Voraussetzung

### 6.3.2 Bridge

Vor allem und gerade im Bereich von Brücken besteht eine hohe Sensibilität in Bezug auf die Ausgangsdaten. In vielen Fällen ist das vollautomatische Ergebnis aber bereits zufriedenstellend. Neben den geschlossenen 3D-Informationen aus Punktwolke und DGM sind ebenso die lückenlosen und überlappungsfreien 2D-Informationen entscheidend für eine saubere Umsetzung von Brücken. Andernfalls entstehen auch hier Triangulationsfehler, wie z.B. Lücken im 3D-DLM. Generell können Triangulationsprobleme durch Verwendung des DGMs statt der Bodenpunkte aus der Punktwolke minimiert werden.

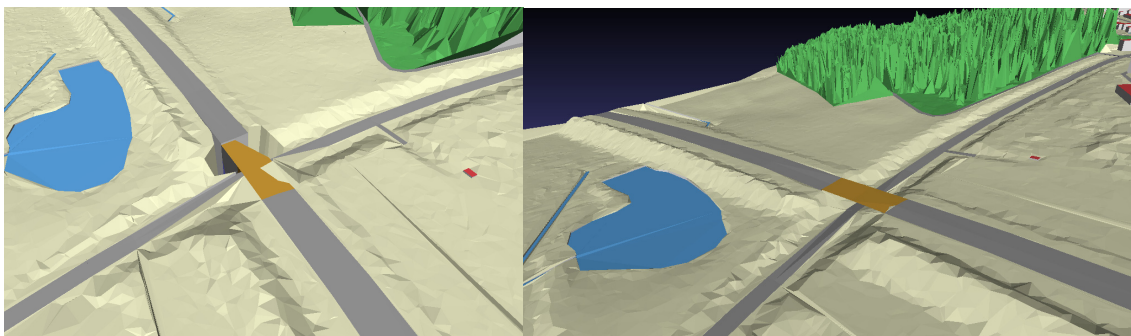


Abb. 7: Behebung von Triangulationsproblemen durch Austausch der Bodenpunkte (links: Umsetzung mit Bodenpunkten aus LAS, rechts: Bodenpunkte aus DGM)

Die Lage der Brücken passt im Testgebiet zu anschließenden Verkehrsobjekten, so dass keine Lücken in X und Y zu den anschließenden Straßen entstehen. Die Höhe der Brücken passt dagegen häufig nicht exakt zu den angrenzenden Straßenobjekten.

### 6.3.3 Road

Liegen Lücken im Punktdatenbestand vor (z.B. unter Brücken) erfolgt eine unsaubere Interpolation der Höhe, welche zu in der Realität nicht vorhandenen Tälern und Kuppen im Straßenverlauf führen.

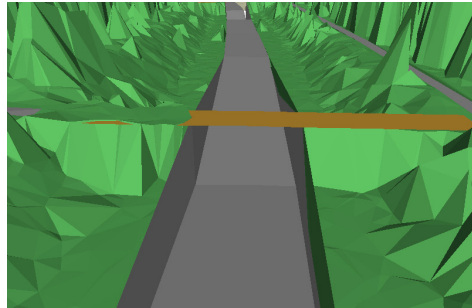


Abb. 8: Unsaubere Straßenverlauf durch Lücken in der Punktwolke

Korrekt wäre eine Interpolation ausschließlich auf Basis vorhandener Punkte. Dabei müsste der 3Dfrier die Semantik des Straßenobjektes berücksichtigen und so starke Gefällesprünge oder Unstetigkeitsstellen vermeiden. Aktuell kann das Problem nur durch automatische Lückenfüllung z.B. durch Austausch der Bodenpunkte durch Punkte aus dem amtlichen DGM vermieden werden.

Ist die Punktdichte des verwendeten DOM zu niedrig, kommt es zu einer unruhigen Straßenoberfläche. Das semantische Wissen um eine ebene Straßenoberfläche kommt hier offensichtlich nicht oder nicht ausreichend gewichtet zum Tragen. Auch bei uneinheitlichem Gelände, z.B. sich änderndem Gefälle oder durch Lageversatz verursachten uneinheitlichen Höhen der auf der Straße liegenden Punkte entstehen Unstetigkeiten im Straßenverlauf (Querneigung, Knicke etc.). Somit ist für einen ebenen Straßenverlauf eine Pufferung der linienhaften 2D-Straßenelemente mit einer der Realität entsprechenden Breite elementar.

Der 3Dfrier bietet außerdem in der aktuellen Version keine Möglichkeit zur Unterscheidung der unterschiedlichen Verkehrswege (z.B. Straßen und Gleise). Aus Sicht der 3D-Modellierung im Anwendungsfall dieses Projektes erscheint dies auf Grund des Generalisierungsgrades unkritisch. Für die Unterscheidung in der Visualisierung erfolgt im Rahmen eines Postprozesses eine Trennung der Verkehrstypen.

#### 6.3.4 Water

Bei der Qualitätsprüfung wird zwischen stehenden und fließenden Gewässern unterschieden.

Für stehende Gewässer gilt die Annahme, dass die Neigung 0 sein muss. Die entsprechende Überprüfung der Daten des LDBV ergab, dass 19,8% der stehenden Gewässer keine horizontale Fläche repräsentieren und damit als fehlerhaft klassifiziert wurden.

Für die Qualitätsbewertung der Fließgewässer gilt die Annahme, dass alle Flächen eines Objekts in etwa (auf 5 Grad genau) in die gleiche Richtung schauen müssen. Ist dies nicht der Fall, werden die Objekte als fehlerhaft bewertet. Mit der oben aufgestellten Annahme ergibt sich somit für die Daten des LDBV ein Prozentanteil von 58% der Fließgewässer, die fehlerhaft sind.

Der Grund hierfür ist den auftretenden Fehlern bei Straßen sehr ähnlich. Demnach ist auch hier eine Pufferung der Fließgewässer mit einer der Realität entsprechenden Breite notwendig.

Außerdem sind einige der ursprünglichen Gewässerachsen durch sehr viele kleine Abschnitte repräsentiert. Dadurch kann es zwischen den einzelnen Objekten zu starken Höhendifferenzen kommen. Dies kann bereits in der Vorverarbeitung der Daten berücksichtigt und verbessert werden.

### 6.3.5 Terrain

Da das vom 3Dfier erzeugte Terrain im Nachgang durch das ursprüngliche hochaufgelöste und genaue DGM ersetzt wurde, erübrigt sich hier eine Qualitätsbewertung.

### 6.3.6 Forest

Das gleiche gilt auch für den Wald. Dieser soll im Ergebnis lediglich flächig über das Gelände gelegt werden.

### 6.3.7 Zusammenfassung und Fazit

Zusammengefasst ergeben sich folgende Kriterien für eine Qualitätsverbesserung des resultierenden 3D-DLMs:

- Bodenpunkte der Punktwolke durch Informationen aus amtlichem DGM (z.B. DGM1) ersetzen
- Möglichst hohe Übereinstimmung in der Lage zwischen DLM und DGM
- Realistische Breiteninformation pro Abschnitt eines Verkehrsweges

Zufriedenstellende Ergebnisse werden aktuell erreicht bei:

- Ebenen oder leicht welligem Gelände
- Gerader oder nur leicht kurviger Achsenverlauf
- Daten entsprechen möglichst weitgehend oben genannten Kriterien zur Qualitätsverbesserung
- Realistische Darstellung bei Übersichtsbetrachtung

Grobe Fehler beschränken sich im Wesentlichen auf Kreuzungsbereiche und Über-/Unterführungen.

## 7 Bereitstellung der Ergebnisdaten

Abgesehen vom DGM wurden alle Daten als CityGML-Instanzdokumente erzeugt und mittels des CityGML-Importers in eine 3D City Database<sup>4</sup> auf einem PostgreSQL DBMS (mit PostGIS) importiert. Nach Festlegen der BoundingBox und Anpassung diverser Einstellungen (z.B. Füllfarbe der Objekte) werden die Daten als COLLADA/glTF exportiert. Dieses Datenformat ist notwendig, um die Inhalte der Datenbank für eine 3D-Web-Visualisierung mittels Cesium aufzubereiten.

Eine Anreicherung der Objekte um thematische Attribute erfolgt mittels des in die 3D City Database integrierten Spreadsheet-Exporters.

Die Attribute eines Objektes werden aus einem exportierten Spreadsheet ausgelesen, welches über das Internet zugreifbar sein muss, z.B. via Google Spreadsheet.

Die Visualisierung des 3D-Landschaftsmodells wird über einen Web-Browser realisiert. Dies geschieht ohne Installieren oder Aktivieren zusätzlicher Erweiterungen (Plug-Ins) für den Browser.

---

<sup>4</sup> <https://www.3dcitydb.org>

## 8 Fazit & Ausblick

In der Demonstrationsphase konnte die grundsätzliche Machbarkeit einer hochgradig automatisierten Ableitung eines flächendeckenden 3D-DLM aus den vorliegenden ALKIS- und ATKIS-Daten nachgewiesen werden. Das verwendete Werkzeug 3Dfier lieferte mit den beschriebenen Ausgangsdaten im vollautomatischen Prozess ein fachlich sinnvolles Ergebnis, das aber im Detail noch inhaltliche Fehler enthält. Der Hardware-Ressourcenbedarf sowie die Laufzeiten der Prozessierung des Testgebiets erscheinen für eine Anwendung auch landesweiter Datenbestände geeignet.

Für ein sinnvolles Ergebnis ist eine Aufbereitung der Ausgangsdaten notwendig. Das betrifft sowohl die Vektordaten, als auch die verwendenden Oberflächenpunkte (Austausch der Bodenpunkte durch hochauflösendes DGM). Auch hat die Verwendung von realen Breiten anstelle von Klassen bei Straßen- und Gewässerobjekten elementare Bedeutung. Die notwendige Vorverarbeitung der Daten, genauso wie das abschließende Mapping auf ein CityGML-Zielmodell, lässt sich gut in einen automatisierten Gesamtprozessablauf integrieren.

Somit bietet der untersuchte Ansatz eine praktikable Möglichkeit um 2D-Daten automatisiert und konsistent in die dritte Dimension anzuheben und dabei alle gewünschten fachlichen Informationen zu übernehmen. Weitere vertiefte Untersuchungen könnten z.B. die Einbeziehung weiterer Softwarewerkzeuge sowie die Verkettung der Teilschritte zu einem Gesamtprozess beinhalten.

## 9 Literaturverzeichnis

- COORS, V., HUBER, U., JOOS, G., REINELT, A., TEEGE, G. & VOERKELIUS, U., 2016: Stellungnahme des Beitrags zum Projektvorhaben Digitales Landschaftsmodell (3D-DLM). unveröffentlicht.
- GRÖGER, G., KOLBE, T.H., NAGEL, C. & HÄFELE, K.-H., 2012: OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, Version 2.0.0., Open Geospatial Consortium.
- KOLBE, T.H., 2009: Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML. 3D Geo-Information Sciences, Lee, J. & Zlatanova, S. (Hrsg.), Springer.
- MARX, C., FIUTAK, G., WILLKOMM P. & DONAUBAUER, A., 2017: Projekt 3D Digitales Landschaftsmodell (3D-DLM) am Runden Tisch GIS e.V. Abschlussbericht (Konzeptionsphase): Anwendungsszenarien, Datenevaluierung, Datenmodellierung & Methoden zur 2D -> 3D-Transformation. [https://rundertischgis.de/images/2\\_publicationen/stud\\_berichte/3D-DLM%20-%20Abschlussbericht.pdf](https://rundertischgis.de/images/2_publicationen/stud_berichte/3D-DLM%20-%20Abschlussbericht.pdf)
- STOTER, J., VALLET, B., LITHEN, T., PLA, M., WOZNIAK, P., KELLENBERGER, T., STREILEIN, A., ILVES, R. & LEDOUX, H., 2016: State-of-the-art of 3D national mapping in 2016. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., **41**(B4), 653-660.