

Digitales Landschaftsmodell in 3D

Caroline MARX¹, Andreas DONAUBAUER¹, Georg FIUTAK² und Thomas H. KOLBE¹

¹Lehrstuhl für Geoinformatik · Technische Universität München · Arcisstraße 21 · 80333 München
E-Mail: caroline.marx|andreas.donaubauer|thomas.kolbe@tum.de

²M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH · Hohenbrunner Weg 13 · 82024 Taufkirchen
E-Mail: gfiutak@moss.de

Zusammenfassung

Das 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, Baden-Württemberg, Österreich und die Schweiz beteiligt sind, untersucht, welche Anforderungen an ein 3D-DLM bestehen und welche Methoden zur Überführung der bisher zweidimensional vorliegenden Digitalen Landschaftsmodelle in ein konsistentes, semantisches 3D-DLM geeignet sein können. Der Beitrag zeigt den aktuellen Stand des Projekts auf; dabei wird zunächst auf die im Projekt ermittelten Anwendungsszenarien für ein dreidimensionales DLM eingegangen und anschließend die von den Ländern zur Verfügung gestellten Geobasisdaten betrachtet. Darauf aufbauend wird das semantische Mapping auf ein geeignetes Zielschema erläutert. Schließlich werden in einem Ausblick erste Überlegungen für die eigentliche Transformation zu einem 3D-DLM anhand ausgewählter Objektarten aufgezeigt.

1 Einführung

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 zunehmendem 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 Seitengraben) und nicht etwa nach Visualisierungsaspekten (KOLBE 2009).

Die Auftraggeber des Projekts sind die Bodenseeanrainer Bayern (Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern – LDBV), Baden-Württemberg (Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg – LGL) und Österreich (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen – BEV). Die Schweiz (Bundesamt für Landestopographie swisstopo), die mit dem Produkt swissTLM3D bereits über ein großmaßstäbliches 3D-Landschaftsmodell verfügt¹, wirkt beratend am Projekt mit.

Das 3D-DLM-Projekt verfolgt verschiedene Zielsetzungen. Zum einen sollen potentielle Anwendungsfelder für ein dreidimensionales Digitales Landschaftsmodell identifiziert und ihre Anforderungen herausgearbeitet werden. Zum anderen ist es das Ziel, die Anforderungen an die Datenmodellierung zu identifizieren und in einer ersten prototypischen Phase das 3D-DLM auf *CityGML* (GRÖGER et al. 2012) abzubilden. Des Weiteren sollen Wege und Methoden erkundet werden, wie die getrennten Modelle ‘DGM’ beziehungsweise ‘DOM’ und die vorliegenden zweidimensionalen DLM in ein konsistentes 3D-DLM überführt werden können. Eine Herausforderung stellt dabei die Tatsache dar, dass die unterschiedlichen Voraussetzungen und Datengrundlagen der am Projekt beteiligten Länder integriert werden müssen.

Im vorliegenden Beitrag werden die Resultate der ersten Phase des Projekts (Konzeptionsphase) dargestellt. Diese Phase umfasst die Arbeitspakete „Anwendungsszenarien“, „Datenmodellierung“ sowie „Methoden zur automatischen 2D→3D-Transformation“.

2 Anwendungspotentiale eines 3D-DLM

Das Herausarbeiten von Anwendungsnutzen eines 3D-DLM ist wesentlicher Bestandteil des Projekts. Ein besonderes Augenmerk wurde dabei darauf gelegt, welchen Mehrwert ein 3D-DLM gegenüber einem zweidimensionalen DLM und DOM / DGM bietet. Aufbauend auf einer Literaturrecherche sowie den Ergebnissen eines Workshops, der zusammen mit den Auftraggebern sowie einem potentiellen Nutzerkreis eines 3D-DLM durchgeführt wurde, ergaben sich die in Tabelle 1 aufgeführten Anwendungsszenarien und die hierfür jeweils notwendigen Objektarten (● bedeutet, dass die Anwendung ein 3D-DLM erfordert; ○ bedeutet, dass ein 3D-DLM die Möglichkeiten erweitert).

Im Folgenden seien die in Tabelle 1 aufgeführten Anwendungsszenarien kurz vorgestellt:

- Sichtbarkeitsanalyse:

Die Analyse möglicher Sichtverbindungen spielt in diversen Bereichen eine entscheidende Rolle. So kann zum Beispiel ermittelt werden, welche Auswirkungen die in der Landschaft errichteten Objekte, wie z. B. Windkraftanlagen oder Funkmasten, auf das Landschaftsbild haben (TÄUBER & ROTH 2011). Als weiteres Beispiel sei die Sichtbarkeit von Verkehrsschildern im Straßenraum bzw. die Sichtbarkeit des weiteren Straßenverlaufs genannt (COORS et al. 2013). Dies ist insbesondere hinsichtlich der sogenannten Car2Car-Kommunikation oder der Fahrassistenzsysteme (z.B. Ausleuchtung der Straße oder Früherkennung von gefährlichen Stellen) relevant.

¹ siehe <https://shop.swisstopo.admin.ch/de/products/landscape/tlm3D>

Tabelle 1: Überblick über die Anwendungsszenarien mit den relevanten Objektarten.

		Notwendige Objektarten									
		DGM	Gebäude	Straßen	Schienen	Brücken	Tunnel	Gewässer	Vegetation	Stadtmöbel	Leitungen
Anwendungsszenarien	Sichtbarkeitsanalyse	●	●	●					●	○	○
	Verschattungsanalyse	●	●				○		●	○	○
	Standortplanung	●	●	○	○			○	○		
	Infrastrukturbau	●	●	●			●	●	○		●
	Beleuchtungssimulation	●	●	●	●	●	●			●	
	Flugsicherung	●	●			●			●		●
	Detonationssimulation	●	●			○	○		●	○	○
	Trainingsimulator (Auto / Tram)	●	○	●	●	●	●		○	○	
	Mobilität	●	○	●	○	●	●			○	○
	Energieplanung	●	●						●		
	Überflutung	●	●	●	●	●	●	●			○
	LWS / Forstmanagement	●		●					●		
	Lärmausbreitung	●	●	●	●	●	●		○	●	
Tourismus	●	○	●				○	○	●		

- Verschattungsanalyse:

Die Verschattung der Umgebung ist oft durch große Gebäude oder Sonderbauten wie Windkraftanlagen oder Strommasten verursacht. Neben der eigentlichen ‘Verschattung‘ durch abgeschirmte Lichtquellen zählen hierzu auch die durch Abschirmung verursachten Funklöcher. Nach BILJECKI (2015) ist dieses Szenario beispielsweise für Solarpotentialanalysen, aber auch im Hinblick auf die Wuchsbeeinträchtigung in der Landwirtschaft relevant.

- Standortplanung:

Die Standortplanung ist eng gekoppelt mit den beiden vorangegangenen Anwendungsszenarien. Im Hinblick auf neu zu errichtende Anlagen und deren Sichtbarkeit besteht oft ein Konflikt zwischen dem Interesse der Bürger (die Landschaft soll nicht durch ein prägendes Bauwerk beeinträchtigt werden) und der Effektivität einer solchen Anlage (oft müssen Windkraftanlagen an exponierten Stellen errichtet werden, da nur dort der Wind in ausreichendem Maße gewährleistet ist) (GRÖGER et al. 2005). Auch für Frei-

flächensolaranlagen gilt es, einen optimalen Standort zu planen. Hier ist vor allem auf die Verschattung durch die umliegende Vegetation zu achten (COORS et al. 2013). Eine zentrale Rolle bei der Standortplanung spielt außerdem die Erreichbarkeit. Daher ist auch die Modellierung von Straßen und Schienen in 3D essentiell.

- Infrastrukturbau:

Mittels 3D-Stadtmodellen kann bereits im Vorfeld geprüft werden, wie sich ein geplantes Bauprojekt in das bestehende Landschaftsbild einfügen wird. Diese Möglichkeit ist speziell für die Akzeptanz von Seiten der Bürger von enormer Bedeutung. Um verschiedenste Planungsvarianten zu modellieren, eignet sich beispielsweise die dynamische Simulation einer Bebauung mittels prozeduraler Erzeugung der relevanten Objekte (RADIES 2013). Nach COORS et al. (2013) sind für ein 3D-DLM nicht nur die oberirdischen, sichtbaren Objekte relevant, sondern ebenso die im Untergrund befindlichen Objekte. Hierzu zählen beispielsweise Tunnel oder Leitungen (Wasser, Strom, Gas). Gerade dann, wenn Erdarbeiten durchgeführt werden müssen, muss der exakte Verlauf der Leitungen bekannt sein.

- Beleuchtungssimulation:

Mittels digitaler 3D-Modelle kann die Beleuchtungsplanung (Helligkeit, Schattigkeit oder die energetische Effizienz) für Sehenswürdigkeiten und städtebauliche Highlights simuliert werden. Somit können im Vorfeld der eigentlichen Installation der Lichtquellen aufwändige Simulationen vor Ort entfallen (COORS et al. 2013). Auch hinsichtlich der Möglichkeit, die Ausleuchtung von Straßen, Tunneln oder Brücken zu simulieren, bietet ein dreidimensionales Modell einen enormen Vorteil.

- Detonationssimulation:

Detonationen wie zum Beispiel eine kontrollierte Sprengung von Fliegerbomben aus dem Zweiten Weltkrieg können schwere Schäden an umliegenden Bauwerken, Infrastrukturprojekten oder der Vegetation verursachen. Eine Detonationssimulation ermöglicht es beispielsweise, diese Vulnerabilität bereits im Vorfeld des eigentlichen Explosionsereignisses zu analysieren und die gefährdete Bevölkerung entsprechend zu evakuieren (WILLENBORG et al. 2016).

- Trainingssimulatoren:

Gerade im Hinblick auf Ausbildungszwecke (z. B. Übungsfahrten eines Straßenbahnfahrers oder Blaulichtfahrten) sind Trainingssimulatoren äußerst hilfreich. Mittels der im Simulator real abgebildeten Szenarien können ohne die Gefährdung anderer Personen kritische Situationen geübt werden. Wichtig ist dabei, die einzelnen Objektarten so realitätsgetreu wie möglich abzubilden. Auch entsprechende Texturen oder Fahrbahnmarkierungen tragen hierzu bei (BILDSTEIN 2014).

- Mobilität:

Ein Nachteil von Elektrofahrzeugen ist noch immer die begrenzte Reichweite. Wichtig ist es daher, eine möglichst energieeffiziente Route mit möglichst geringen Steigungen (für Bergauf-Fahrten) zu wählen (BACHOFER 2011). Für diese Analyse ist es ausreichend, wenn die Straßengeometrie linienhaft (als LoD0) vorliegt. Soll jedoch z. B. die optimale Route eines Schwerlasttransports ermittelt werden, so sollten kritische Stel-

len, wie beispielsweise schmale Tunnel oder enge Kurven vermieden werden. Für diesen Zweck ist ein hochdetailliertes Modell des Straßenraums (LoD1 oder besser LoD2) notwendig.

- Energieplanung:

Neben der Energiebedarfschätzung einzelner Gebäude spielt auch die Solarpotentialanalyse eine wichtige Rolle. Entscheidende Größen für die Wirtschaftlichkeit von Photovoltaikanlagen sind die Ausrichtung des Gebäudes (möglichst in Richtung Süden), die Dachneigung (möglichst senkrecht zum Sonnenstand), die Größe der Anlage sowie eventuell vorhandene Verschattungen durch umliegende Gebäude oder Vegetation. Dabei kann die Analyse gebäudescharf oder aber für die einzelnen Dachteile separat erfolgen. KADEN & KOLBE (2014), KADEN (2014) sowie NOUVEL et al. (2014) stellen beispielsweise Methoden basierend auf 3D-Stadtmodellen vor, um realistische Energieanalysen der Gebäudesubstanzen großmaßstäbig durchzuführen. Als weiteres praktisches Beispiel sei der Solaratlas Berlin zu nennen. Dieser „stellt die Solarpotentiale aller Gebäude im Land Berlin als integrierte 2D- und 3D-Webmappinganwendung dar“ (NAGEL et al. 2015). Nutzer können diese Ergebnisse der gebäudescharfen Solarpotentialanalyse abfragen und ausgeben lassen. Weitere relevante Gesichtspunkte werden im Leitfaden „3D-GIS und Energie“ (2015) des Runden Tisch GIS e.V. diskutiert.

- Überflutung:

Neben der Prävention z. B. durch Errichtung von Dämmen gilt es bei einem tatsächlich eintretenden Überflutungsereignis schnell und effektiv zu handeln. Hierzu benötigt man Informationen über neuralgische Punkte, wie beispielsweise Objekte der baulichen Infrastruktur (Dämme, Durchlässe, Kanäle u. v. m.). Müssen Personen evakuiert werden, ist es wichtig zu wissen, bis zu welchem Stockwerk die Evakuierung erfolgen muss, aber beispielsweise auch, welche Straßen überhaupt noch durch Rettungsfahrzeuge befahrbar sind (QIAO & ZHANG 2009, WANG et al. 2007, ESRI 2014).

- Landwirtschaft / Forstmanagement:

Aus Sicht der Landwirtschaft ist eine mögliche Anwendung eines 3D-DLM, die Wirksamkeit von Landschaftselementen hinsichtlich Erosionsminderungen abzuleiten. Entscheidender Einflussfaktor ist hierbei die Hangneigung. Die Steigung des Geländes spielt außerdem hinsichtlich des landwirtschaftlichen Wegenetzes eine entscheidende Rolle; so hat diese einen maßgeblichen Einfluss auf die Befahrbarkeit von Wegen mit bestimmten Landmaschinen (MACHL et al. 2016). Bezüglich des Forstmanagements kann mittels detaillierter Vegetationsmodelle beispielsweise das Holzvolumen abgeschätzt werden. Hierbei gibt es genauso wie bei den Gebäudemodellen unterschiedliche Detaillierungsgrade; so erlaubt z. B. das LoD2 die Unterscheidung zwischen Laub- und Nadelholz (KEIGHTLEY & BAWDEN 2010).

- Lärmausbreitung:

3D-Daten werden in diesem Zusammenhang u. a. dafür genutzt, Modelle zu erzeugen, die Aufschluss darüber geben, in welchem Ausmaß die Bürger der Lärmbelästigung ausgesetzt sind. Entsprechend der Richtlinie 2002/49/EG müssen in allen EU-Mitgliedsstaaten in regelmäßigen Abständen Lärmkarten der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Hierfür werden bereits 3D-Modelle verwendet. Straßen und Schie-

nenwege, Brücken und Tunnel sind essentiell, da Straßen und Schienen als Emittenten gelten. Ein Vorteil, den ein 3D-DLM liefern kann, ist zum Beispiel die Berücksichtigung von Refraktionen; der Lautstärkepegel kann an unterschiedlichen Elevationen der gleichen planaren Koordinaten deutlich variieren (BILJECKI 2015 / CZERWINSKI et al. 2006).

- Tourismus:

Die Anwendungsmöglichkeiten eines 3D-Landschaftsmodells sind für den Tourismus sehr vielseitig. Neben den Profilen von Rad- und Wanderwegen oder der Höhenlage von Badeseen, ist ein wichtiger Tourismuszweig (v.a. im Gebirge) der Skisport. Vorstellbar ist zum Beispiel die interaktive Visualisierung von Skipisten und -liften mit abfragbaren Informationen. Außerdem könnte das entsprechende Höhenprofil einer Piste berechnet und angezeigt werden.

- Flugsicherung:

Da in der aktuellen 3D-DLM-Projektphase die beiden Anwendungsszenarien *Flugsicherung* und *Überflutung* zur detaillierteren Betrachtung der Datenmodellierung sowie der Transformation von 2D nach 3D ausgewählt wurden, soll dieses Anwendungsfeld etwas genauer betrachtet werden:

Gerade in unmittelbarer Umgebung von Flughäfen muss für die sichere Abwicklung der Start- und Landevorgänge bekannt sein, wie das Gelände verläuft und wo sich eventuelle Hindernisse befinden. Hierzu zählen beispielsweise Freileitungen, Windräder, Türme, Kräne, Gebäude oder hohe Bäume. „Die internationale Vereinbarung über die Zivilluftfahrt (ICAO) verlangt [...] unter anderem die Bereitstellung von digitalen Gelände- und Hindernisdaten (eTOD [...]) durch den Staat“ (AUSTRO CONTROL GMBH / ITV CONSULT 2016).

Gemäß ICAO Annex 15 werden vier Gebiete definiert, für die spezielle Anforderungen gelten (EUROCONTROL 2015):

- Area 1:

Dies umfasst das gesamte Staatsgebiet. Als Hindernisse werden alle Objekte mit einer Höhe von mindestens 100 m über Grund betrachtet.

- Area 2, 3 und 4:

Diese Flächen umfassen Flugplätze und Heliports (sowie deren Umgebung), die regelmäßig von der internationalen Zivilluftfahrt benutzt werden. Außerdem zählen dazu Streifen von 120 m x 900 m vor den Landebahnen. Die Definition der Hindernisse variiert sehr stark innerhalb dieser drei Areas; es werden Objekte bis zu einer minimalen Höhe von 0,5 m als Hindernisse angesehen (detaillierte Informationen können AUSTRO CONTROL GMBH / ITV CONSULT 2016 entnommen werden).

Generell werden bei eTOD drei Geometrietypen von Luftfahrthindernissen unterschieden:

- Punktobjekte (z. B. Masten, Antennen, Türme)
- Linienobjekte (z. B. Hochspannungsleitungen)

- Flächenobjekte (z. B. Gebäude)

Bei Punktobjekten gilt generell, dass stets der oberste Punkt des Objekts ausschlaggebend ist. Ein Spezialfall stellt z. B. eine Windkraftanlage dar, da die maximale Höhe je nach Position der Rotorblätter variiert. Windkraftanlagen müssen daher als Punktobjekte mit maximaler Windradhöhe erfasst werden.



Abb. 1: Punktobjekt zur Repräsentation von Windkraftanlagen (maximale Windradhöhe) [Quelle: AUSTRO CONTROL GMBH / ITV CONSULT 2016, 34].

Bei linienförmigen Objekten müssen mindestens zwei Stützpunkte erfasst werden; die Stützpunkte werden geradlinig miteinander verbunden.

Als Flächenobjekte werden zum Beispiel komplexe Gebäude mit einer großen Ausdehnung (horizontale Ausdehnung > 3x Hindernishöhe) erfasst. Auch zusammenhängende Waldgebiete gehören diesem Geometrietyp an; dabei entspricht die Höhe des horizontalen Flächenobjekts der Höhe des höchsten Baumes. Bei starkem Gefälle empfiehlt es sich, große Waldpolygone in mehrere kleine Polygone aufzuteilen. Dadurch wird der tatsächliche Höhenverlauf der Vegetation realitätsnäher abgebildet.

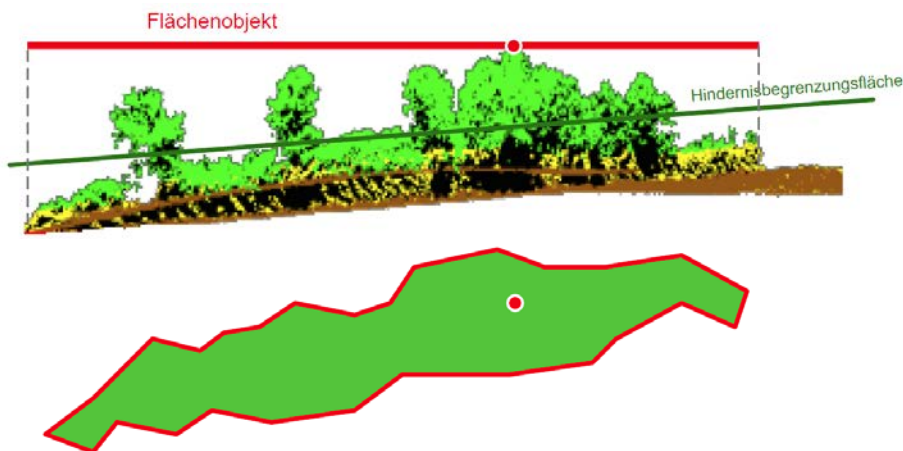


Abb. 2: Flächenhafte Repräsentation des Luftfahrthindernisses „Vegetation (Wald)“; die Höhe des höchsten Baumes ist ausschlaggebend [Quelle: AUSTRO CONTROL GMBH / ITV CONSULT 2016, 32].

Aus den vorangegangenen Betrachtungen ergibt sich somit für das Anwendungsszenario *eTOD*, dass neben dem Gelände auch alle punkt-, linien- und flächenhaften Objekte (entsprechend den Vorgaben der unterschiedlichen Areas) für die Modellierung berücksichtigt werden müssen. Dies bedeutet konkret, dass sowohl Einzelobjekte wie z. B. Masten, aber auch Leitungen, Seilbahnen und Brücken sowie flächenhafte Objekte wie Gebäude und die Vegetation modelliert werden müssen.

3 Verfügbare Geobasisdaten

Für das 3D-DLM-Projekt werden zwei unterschiedliche Testgebiete festgelegt. Auf der einen Seite eignet sich die Bodensee-Region sehr gut als Untersuchungsgebiet, da dort alle Länder, die am Projekt beteiligt sind, berücksichtigt werden und so auch grenzübergreifende Aspekte wie z.B. die unterschiedliche Modellierung der 2D-DLM oder die Effekte der unterschiedlichen Lage- und Höhen Bezugssysteme untersucht werden können. Auf der anderen Seite wurde ein Gebiet im Umkreis von 45 km um den Salzburger Flughafen gewählt; auch hier wird die grenzübergreifende Zusammenarbeit gewährleistet. Durch den Flughafen Salzburg kann das Anwendungsszenario *eTOD* detailliert betrachtet werden (grenzübergreifende Einflugschneise zwischen Österreich und Bayern). Der Gebietsumfang wird in Abbildung 3 dargestellt.

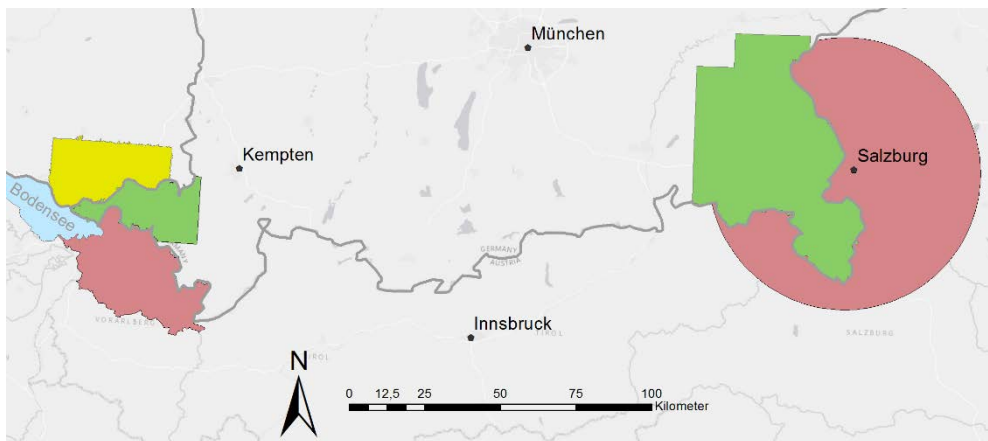


Abb. 3: Gebietsumfang des 3D-DLM-Projekts (korallenrot: BEV, grün: LDBV, gelb: LGL).

Für die Überführung der im zweidimensionalen vorliegenden DLM-Daten in die dritte Dimension wurden von den drei Auftraggebern diverse Geobasisdaten bereitgestellt. Diese werden im Folgenden näher vorgestellt.

3.1 2D Basis-DLM

3.1.1 BEV

Das zweidimensionale Basis-DLM des BEV ist das „Digitale Landschaftsmodell“. Dieses liegt flächendeckend für ganz Österreich in Form von Vektordaten vor und untergliedert sich in die Produkte Gewässer, Namen, Siedlung und Verkehr.²

Die vorhandenen Shape-Files – die im ETRS 1989 UTM Zone 33N vorliegen – lassen sich in die sechs Themenbereiche „Bauten“, „Bodenbedeckung“, „Gebietsnutzung“, „Gewässer“, „Namen“ und „Verkehr“ kategorisieren. Eine feinere Untergliederung sowie eine Übersicht bezüglich Geometrietyp, Objektanzahl und Datenmenge erfolgt beispielhaft anhand des Bereichs „Verkehr“ (die Angaben beziehen sich lediglich auf das Testgebiet Vorarlberg):

VERKEHR	Geometrie	Objektanzahl	Größe [MB]
<i>Straßenverkehr (linienhaft)</i>	Polylinie	37608	51,2
<i>Verkehrsbauten (punkthaft)</i>	Punkt	215	0,35
<i>Bahnverkehr (linienhaft)</i>	Polylinie	526	0,42
<i>Lifte (linienhaft)</i>	Polylinie	244	0,14
<i>Lifstationen (punkthaft)</i>	Punkt	712	0,17

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Thematik „Vegetation“ für Österreich noch nicht vorhanden ist. Insbesondere hohe Bäume wären jedoch für die Anwendung *eTOD* von besonderem Interesse.

3.1.2 LDBV / LGL

Die Aufteilung und Kategorisierung der Shape-Files des LDBV und des LGL beruhen jeweils auf dem ATKIS-Basis-DLM (AAA) der AdV (KURSTEDT 2013). Die unterschiedlichen Ebenen werden den 6 Themenbereichen „Siedlung“, „Verkehr“, „Vegetation“, „Gewässer“, „Gebiete“ und „Relief“ zugeordnet. Um einen Vergleich mit den vorliegenden DLM-Daten des BEV zu ermöglichen, sei an dieser Stelle ebenfalls die Thematik „Verkehr“ näher betrachtet. Dies gliedert sich in die folgenden Shape-Files (die Angaben beziehen sich auf die Daten des LGL):

VERKEHR	Geometrie	Objektanzahl	Größe [MB]
<i>Straßenverkehr (flächenhaft)</i>	Polygon	903	0,58
<i>Straßenverkehr (linienhaft)</i>	Polylinie	91445	44
<i>Wege (linienhaft)</i>	Polylinie	158176	69,9
<i>Bahnverkehr (flächenhaft)</i>	Polygon	33	0,02
<i>Bahnverkehr (linienhaft)</i>	Polylinie	969	0,44
<i>Verkehrsbauwerke (flächenhaft)</i>	Polygon	64	0,06

² Nähere Informationen hierzu können unter dem folgenden Link abgerufen werden:

http://www.bev.gv.at/portal/page?_pageid=713.2009524&_dad=portal&_schema=PORTAL

<i>Verkehrsbauwerke (linienhaft)</i>	Polylinie	9416	5,47
<i>Verkehrsbauwerke (punkthaft)</i>	Punkt	40	0,02

Der *Straßenverkehr* bildet bei den flächenhaften Objekten Plätze und Flächen ab, die dem Verkehr dienen. Die linienhaften Objekte umfassen Fahrbahnachsen und Straßenachsen. Die linienhaften *Wege* beinhalten die Objektarten Weg, Pfad und Steig sowie die Fahrwegachse von Wirtschaftswegen. Die *Verkehrsbauwerke und -anlagen* beinhalten beispielsweise Bauwerke in Gewässerbereichen oder Bahn- bzw. Flugverkehrsanlagen.

3.2 DGM und DOM

3.2.1 BEV

Das BEV verfügt aktuell über ein DGM mit einer Auflösung von 10 m pro Rasterzelle. Da dies v. a. für die Ableitung von punktförmigen Objekten zu ungenau ist, wurde für das österreichische Gebiet um den Bodensee auf die DGM-Daten des LVG Vorarlberg zurückgegriffen. Dies verfügt über ein DGM der Auflösung 0,5 m / Rasterzelle (Lagebezugssystem: MGI_Austria_GK_West / Höhenbezugssystem: Gebrauchshöhen; Pegel: Adria). Für das Salzburger Gebiet wurde auf das DGM des Landes Salzburg ausgewichen. Dies liegt mit einer Auflösung von 1 m / Rasterzelle vor (Lagebezugssystem: MGI_Austria_GK_M31).

Da das BEV für das „Bodensee-Gebiet“ derzeit kein DOM vorhält, werden auch hier die Daten des LVG Vorarlberg genutzt (Spezifikationen entsprechen den Informationen zum DGM). Das Digitale Oberflächenmodell des BEV für das Gebiet um den Salzburger Flughafen liegt ebenfalls in einer Auflösung von 0,5 m / Rasterzelle vor (Lagebezugssystem: MGI_Austria_GK_Central / Höhenbezugssystem: Gebrauchshöhen; Pegel: Adria).

3.2.2 LDBV

Das LDBV stellt für das Digitale Geländemodell sowie für das Digitale Oberflächenmodell diverse Formate (in unterschiedlichen Auflösungen) zur Verfügung. Eine Übersicht ist der Tabelle 2 zu entnehmen:

Tabelle 2: Übersicht der DGM- und DOM-Daten des LDBV.

	DGM	DOM
Bodensee	- Format: ASCII-XYZ - Auflösung: 1m/Rasterzelle	<u>bDOM</u> : - Format: LAZ - Auflösung: 0,4m/Rasterzelle
Salzburg	- Format: ASCII-GRID - Auflösung: 1m/Rasterzelle	<u>LiDAR</u> : - Format: LAZ - Punktdichte: 1,7 Punkte / m ² (Bodensee) 3,69 Punkte / m ² (Salzburg)

Das Lagebezugssystem der LDBV-Daten ist das DHDN_3_Degree_Gauss_Zone_4 und das Höhenbezugssystem das DHHN92.

3.2.3 LGL

Sowohl das DGM als auch das DOM des Testgebiets in Baden-Württemberg liegen als ASCII-XYZ-Format in einer Auflösung von 1m / Rasterzelle vor. Das zugrundeliegende Lagebezugssystem ist das DHDN_3_Degree_Gauss_Zone 3 und das Höhenbezugssystem das DHHN92.

3.3 Sonstige verfügbare Geobasisdaten

Sowohl das LDBV als auch das LGL stellen zusätzlich zum Geländemodell und den 2D-DLM-Daten auch Gebäudegrundrisse, LoD2-Gebäudemodelle (nach dem AdV-Produktstandard für 3D-Gebäudemodelle³) im CityGML-Ausgabeformat sowie Orthophotos mit einer Auflösung von 20 cm (im TIF-Format) zur Verfügung.

4 Datenmodell und Semantisches Mapping

Als anzuwendendes Datenmodell kommen zunächst verschiedene Möglichkeiten in Betracht. Denkbar sind z. B. eine generelle Erweiterung von ALKIS / ATKIS oder von INSPIRE um die dritte Dimension, das TLM oder CityGML. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde auf letzteres Datenmodell zurückgegriffen. Ausschlaggebend für diese Entscheidung war es, dass CityGML ein internationaler, offener Standard ist (GRÖGER et al. 2012) und die erforderlichen Objektarten (in unterschiedlichen Levels of Detail) in den thematischen Modulen des Standards verfügbar sind.

Tabelle 3: Übersicht möglicher Datenmodelle.

Datenmodell	Benötigte Objektarten in 3D verfügbar	Objekte in unterschiedlichen LoDs modellierbar	Europäischer / internationaler Standard
ALKIS 7.0 ⁴	-	+ (nur Gebäude und Bauwerke)	-
TLM	+	-	-
INSPIRE	-	+ (nur Gebäude)	+
CityGML	+	+	+

Ziel des Semantischen Mappings ist es, die Quellschemata (d. h. die von den Auftraggebern bereitgestellten 2D-DLM-Daten) auf das Zielschema (in diesem Fall CityGML) abzubilden. Da sowohl die LDBV-Daten als auch die Daten des LGL auf dem ATKIS-Basis-DLM (AAA) der AdV beruhen, können diese beiden Ausgangsdaten zu einem Quellschema („AAA“) zusammengefasst werden. Für das Quellschema der BEV-Daten muss zusätzlich ein eigenes Mapping durchgeführt werden.

Da die Gebäudemodelle des LDBV und des LGL bereits im CityGML-Format (Level of Detail 2) vorliegen, erübrigt sich an dieser Stelle eine weitere Betrachtung dieser Thematik.

³ Abrufbar unter <http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Standards-und-Produktblaetter/ZSHH/>

⁴ Siehe <http://www.adv-online.de/AAA-Modell/Dokumente-der-GeoInfoDok/GeoInfoDok-7.0/>

Vom BEV wurden keine Grundrisse der Gebäude zur Verfügung gestellt. Somit hätte die Betrachtung von Gebäuden den Rahmen des Projekts überschritten.

Alle anderen Objektklassen, die im Rahmen des 3D-DLM-Projekts von Interesse sind, werden auf die entsprechend passenden CityGML-Klassen abgebildet. So werden beispielsweise Straßen auf die Klasse *Road*, Gleise auf die Klasse *Railway*, Gewässer auf die Klasse *WaterBody* und Hochspannungsleitungen bzw. Windräder auf die Klasse *CityFurniture* abgebildet. Herauszustellen ist an dieser Stelle, dass die Objekte jeder Klasse durch die Attribute *class*, *function* und *usage* semantisch weiter klassifiziert werden können (DONAUBAUER et al. 2016). So kann ein Objekt, das auf die CityGML-Klasse *TransportationComplex* abgebildet wird zum Beispiel der Klasse „Straßenverkehr“ (road traffic) und der Funktion „Autobahn“ (highway) zugeordnet werden. Des Weiteren können Angaben über die Geometrie der Objekte getroffen werden: Beispielsweise kann die Klasse *PlantCover* mittels zwei unterschiedlicher Geometrien modelliert werden: *MultiSurface* (aus 2,5D-Flächen zusammengesetzte Oberfläche) oder *MultiSolid* (Volumenkörper). Durch die zusätzliche Zuordnung der LoD-Stufe wird berücksichtigt, wie detailliert das entsprechende Objekt dargestellt wird.

Mittels der beiden Mapping-Tabellen (BEV und AAA) konnten alle in den Quellschemata vorhandenen Klassen und Attribute erfolgreich nach CityGML abgebildet werden. Für den Fall, dass es für ein Attribut der Quelldaten kein passendes Pendant im CityGML-Standard gab, wurden diese Informationen als generische CityGML-Attribute überführt. Dies wurde auch von der AdV so für die CityGML-Repräsentation des amtlichen 3D-Gebäudebestandes gemacht.

Tabelle 4 zeigt die Zuordnung zwischen ausgewählten Klassen der Quellschemata „BEV“ bzw. „AAA“ und dem Zielschema „CityGML“.

Tabelle 4: Semantisches Mapping zwischen den beiden Quellschemata „BEV“ bzw. „AAA“ und dem Zielschema „CityGML“.

CityGML	BEV	AAA
tran:Road	VER_1100_STRASSE_L	AX_Strassenverkehr (42000)
tran:Railway	VER_1300_BAHN_L	AX_Bahnverkehr (42010) AX_Gleis (53006)
wtr:WaterBody	BOD_5300_WASSER_F GEW_4100_FLIESSEND_L	AX_Fliessgewaesser (44001) AX_StehendesGewaesser (44006)
veg:PlantCover	---	AX_Wald (43002)
fn:CityFurniture	BAU_2700_STROMLEITUNG_L BAU_2800_STROMMAST_P	AX_Leitung (51005) AX_BauwerkOderAnlageFuerIndustrie UndGewerbe (51002); BWF: 1251

Zudem lässt sich feststellen, dass die Attribute der BEV-Daten weitestgehend den AAA-Attributen entsprechen; beispielsweise sind in beiden Datenmodellen Informationen hinsichtlich der Höhenlage bezüglich einer Referenzebene enthalten (das BEV nutzt hierfür die Attribute „LAGE“ bzw. „STUFE“; bei den AAA-Daten kann diese Information aus dem Attribut „HDU_X“ abgeleitet werden). Für die tatsächliche dreidimensionale Modellierung enthalten die AAA-Daten einige sinnvolle zusätzliche Attribute, wie z. B. die Fahrbahn-

breite (BRF), die Anzahl der Fahrstreifen (FSZ), die Spurweiten der Gleise (SPW) oder die Breite der Gewässer (BRG). Für die Überführung der BEV-Daten in die dritte Dimension muss stattdessen auf Standardwerte aus der Literatur zurückgegriffen werden.

5 Ausblick: Überlegungen zum Übergang von 2D nach 3D für ausgewählte Objektarten

Grundsätzlich kann für den Übergang von 2D nach 3D auf eine Reihe von Vorarbeiten zurückgegriffen werden, die jedoch an die in den Quelldaten verfügbaren Informationen und deren Qualität angepasst werden müssen. So diskutiert HEIPKE (2016) Methoden zur Integration von 2D-Vektordaten und DGM, mit dem Ziel Lage- und Höhendaten geometrisch und semantisch korrekt zu integrieren. Insbesondere zur Beseitigung geometrischer Abweichungen zwischen DGM- und 2D-DLM-Daten, wie sie sowohl bei Kombination eines DGM mit relativ großer Maschenweite und eines geometrisch genauen DLM, als auch bei Kombination eines hochgenauen DGM mit generalisierten DLM-Daten auftreten können, sollten die von Heipke beschriebenen Methoden in Betracht gezogen werden. OUDE ET AL. (2013) stellen Methoden vor, die in Abhängigkeit der Semantik der 2D-DLM-Daten automatisch die für die jeweilige Objektklasse relevanten Punkte aus klassifizierten Laserscanning-Punktwolken extrahieren und für den 2D-3D-Übergang nutzen. Ebenfalls unter Nutzung der Semantik der 2D-DLM-Objekte werden die Höhen benachbarter Polygone regelbasiert aneinander angeglichen, so dass zum Beispiel beim Angrenzen eines Gewässers an eine Straße beide Objekte ihre Höhe behalten und die entstehende Lücke automatisch mit einem Objekt (Uferböschung, Kaimauer) gefüllt wird. Diese Methoden könnten insbesondere dann in Betracht gezogen werden, wenn eine 2D-Tessellation (wie sie zum Beispiel mit dem ALKIS-Bestandteil „Tatsächliche Nutzung“ gegeben ist) in eine 3D-Repräsentation überführt werden soll. DONAUBAUER et al. (2016) stellen prozedurale Verfahren zur Generierung von 3D-Infrastrukturobjekten vor, die sich zum Beispiel für Leitungstrassen, Seilbahnanlagen, Brücken und Tunnel einsetzen lassen. Zur Ermittlung der tatsächlichen Breite von in 2D-DLM linienhaft repräsentierten Objekten wie Straßen und Flüsse kann, sofern entsprechende Fernerkundungsdaten vorliegen, die von KOLBE et al. (2015) beschriebene Methode in Betracht gezogen werden.

Aufbauend auf den oben vorgestellten Methoden, soll im Folgenden der eigentliche Übergang der 2D-DLM-Daten (unter Berücksichtigung des DGM bzw. DOM) in die dritte Dimension erfolgen. Da im Rahmen dieses Beitrags nicht alle Objektarten näher vorgestellt werden können, sei an dieser Stelle ein exemplarischer Überblick zu ersten Überlegungen zum Übergang von 2D nach 3D für ausgewählte Objektarten angeführt.

5.1 Straßen

Der Höhenverlauf der Straßenachsen lässt sich aus dem DGM ableiten (die Objekte vom Typ „Brücke“ müssen bei der Höhenableitung allerdings ausgeklammert werden, da die Brücken aus dem DGM herausgefiltert wurden und somit der Höhenverlauf verfälscht würde. Die Erstellung der Brücken kann dann in einem weiteren Schritt beispielsweise mittels prozeduraler Modellierung erfolgen und anschließend bestmöglich an die angrenzenden Straßen angefügt werden). Da in den Ausgangsdaten lediglich die eigentliche Straßenmittelachse repräsentiert ist, wird diese um die halbe Straßenbreite auf beide Seiten

gepuffert. Hierfür werden in Abhängigkeit des Straßentyps (F_CODE (BEV)) bzw. der Widmung (WDM (AAA)) Standardwerte verwendet. Zu beachten ist, dass dies lediglich eine idealisierte Straßenbreite, aber in keinster Weise die tatsächliche Realität darstellt. So werden beispielsweise keine zusätzlichen Abbiege- oder Überholspuren berücksichtigt. Außerdem kann innerhalb des gleichen Straßentyps die eigentliche Breite stark variieren. Das nach obiger Beschreibung erzeugte CityGML-Objekt liegt dann im LoD1 vor.

5.2 Gleise

Die Modellierung der Gleise im LoD1 ist dem Vorgehen bei den Straßen sehr ähnlich. Ausgehend von der linienhaften Mittelachse wird in diesem Fall jedoch keine Fläche, sondern in einem gewissen Abstand (mittels F_CODE (BEV) ableitbar bzw. mittels der Spurweite SPW aus den AAA-Daten zu entnehmen) parallel verlaufende Linien erzeugt. Wichtig bei der Umsetzung in 3D ist es, darauf zu achten, dass die Höheninformation der Mittelachse übernommen wird. Visualisiert werden können diese Objekte beispielsweise indem die Linienobjekte, die die parallel verlaufenden Gleise repräsentieren, um einen gewissen Betrag gepuffert werden und somit als ‘Röhren‘ dargestellt werden (siehe Abbildung 4). Eine elegantere Möglichkeit, die 3D-Geometrie zu erzeugen, kann unter Zuhilfenahme prozeduraler Modellierung erfolgen. Ausgehend von der linienhaft vorliegenden Gleismittelachse kann durch eine Abfolge definierter Regeln eine hochdetaillierte Gleisgeometrie automatisiert erzeugt werden.

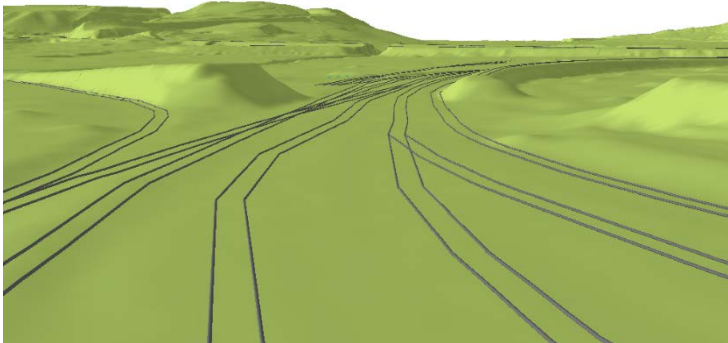


Abb. 4: Gleise – visualisiert als gepufferte, parallel verlaufende ‘Röhren‘.

5.3 Gewässer

Die Transformation in 3D (LoD1) ist für die linienhaft vorliegenden Flussachsen recht einfach umzusetzen. Zunächst wird die Linie entsprechend des Attributs F_CODE (BEV) bzw. BRG (AAA) um die vorgegebene Breite gepuffert. Das Attribut für den Gewässertyp (F_CODE) gibt jedoch nur einen groben Aufschluss über die tatsächliche Flussbreite; demnach muss mit einer repräsentativen Breite gearbeitet werden. Dieses nun flächenhafte Element wird anschließend so auf das DGM gelegt, dass die erzeugten Objekte dem Höhenverlauf des DGM folgen. Ergebnis ist eine Fläche mit der Breite aus dem Linienattribut, die die Höhe des DGM wiedergibt (siehe Abbildung 5).

Außerdem sind bei der Modellierung die Attribute LAGE (BEV) bzw. HDU_X (AAA) zu berücksichtigen, die Aufschluss darüber geben, ob das Gewässer ebenerdig (d. h. auf dem Gelände) oder eventuell unterirdisch verläuft. In letzterem Fall müssten die Höhenverläufe dieser Abschnitte auf eine andere Weise bestimmt werden. Ein mögliches Verfahren zur Höhenbestimmung dieser Abschnitte kann es zum Beispiel sein, die Höhen der auf beiden Seiten

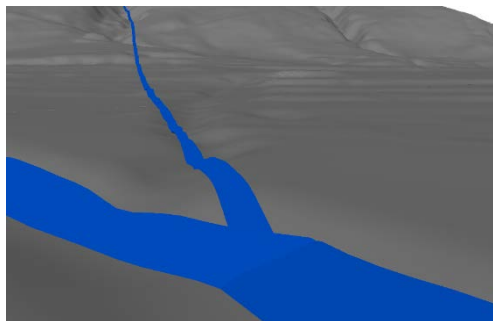


Abb. 5:
Ergebnis einer gepufferten Gewässerachse (auf DGM1).

angrenzenden ebenerdigen Segmentendpunkte abzugreifen und basierend auf diesen Höhen mittels einer linearen Interpolation einen fiktiven Höhenverlauf für die unterirdischen Segmente zu modellieren. Damit wäre gewährleistet, dass ein zusammenhängendes Gewässernetz vorliegt.

5.4 Windräder

Die exakte Position der Objekte ist über das Punktojekt gegeben. Auch die Höhe des Fußpunktes lässt sich sehr leicht ermitteln, indem die Punkte auf das DGM gelegt werden. Schwieriger ist die Ermittlung der eigentlichen Objekthöhen (in den AAA-Daten gibt es zwar das Attribut HHO, das die Objekthöhe angibt; allerdings sind nur sehr selten auch tatsächlich Angaben hinterlegt). Eine mögliche Informationsquelle bieten die Laserpunkt- wolken. Wie in Abbildung 6 ersichtlich, sind die 3 Rotorblätter in der Laserpunkt- wolke eindeutig zu erkennen.

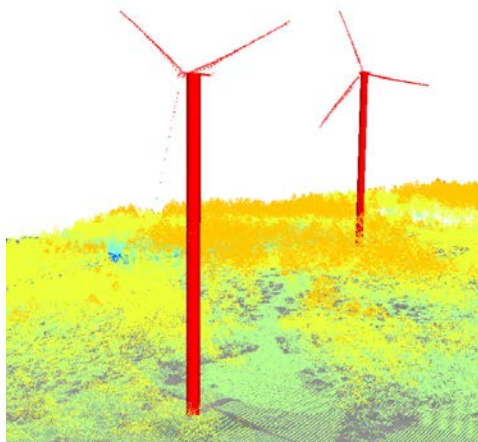


Abb. 6:
Windräder sind in der Laserpunkt- wolke eindeutig zu erkennen. Rotes Objekt: Extrudierter Windrad-Grundriss.

Mittels der Laserpunktwolke kann folglich die tatsächliche Höhe des Objekts bestimmt werden. Ausgehend vom auf dem DGM befindlichen Punkt, wird dieser zunächst gepuffert (es wurde ein Durchmesser von 2 m angenommen) und anschließend entsprechend der Objekthöhe extrudiert (das CityGML-Objekt liegt dann im LoD1 vor). Hierbei ist zu beachten, dass aktuell lediglich die Nabenhöhe, nicht jedoch die eigentliche Rotorhöhe bzw. Rotorgeometrie repräsentiert wird.

6 Zusammenfassung

Die im Rahmen des Projekts betrachteten Objektarten können nach den bisherigen ersten Untersuchungen basierend auf dem 2D-DLM und dem Geländemodell grundsätzlich automatisiert in ein dreidimensionales Digitales Landschaftsmodell überführt werden. Aus Mangel an Informationen müssen teilweise idealisierte Größen für die Transformation genutzt werden (z. B. für Straßen- oder Flussbreiten). Eine noch genauere und realitätsnähere Modellierung wäre mit detaillierteren Informationen möglich. Außerdem konnte gezeigt werden, dass alle Objektarten und die zugehörigen Attribute auf CityGML abgebildet werden können. Die für eine zweite Projektphase vorgesehene detaillierte Betrachtung prototypischer Implementierung der Methoden und testweise Transformation der Daten für die genannten Testgebiete lässt tiefere Erkenntnisse erwarten, u. a. zu den Themen Automatisierbarkeit, Qualität und Eignung der Ergebnisdaten für die genannten Anwendungen und lagemäßiger Übereinstimmung von DGM, DOM und 2D-DLM.

Dank

Die Autoren danken dem LDBV, dem LGL, dem BEV sowie swisstopo für die Förderung des Projekts 3D-DLM sowie Herrn Philipp Willkomm der Firma M.O.S.S. für die Beiträge zu diesem Projekt.

Literatur

- AUSTRO CONTROL GMBH / ITV CONSULT (2016), Datenproduktspezifikation für Luftfahrtshindernisse in Österreich. https://www.austrocontrol.at/flugsicherung/aim_services/datenauflieferung_gemaess_adq
- BACHOFER, F. (2011), Einfluss der vertikalen Genauigkeit von DGM auf das EcoRouting von Elektrofahrzeugen. In: Beiträge zum 23. AGIT-Symposium Salzburg; S. 338-346. http://gispoint.de/fileadmin/user_upload/paper_gis_open/AGIT_2011/537508006.pdf
- BILDSTEIN, F. (2014), Nutzung von Geodaten zur Visualisierung geospezifischer Übungsszenarien in Trainingssimulatoren; In: DGPF Tagungsband 23 / 2014
- BILJECKI, F., STOTER, J., LEDOUX, H., ZLATANOVA, S., & CÖLTEKIN, A. (2015), Applications of 3D City Models: State of the Art Review. In: ISPRS International Journal of Geo-Information; Nr.4; S. 2843
- COORS, V., HOLWEG, D., MATTHIAS, E., & PETZOLD, B. (2013), 3D-Stadtmodelle: Projekte im Raum. In: Geo-Forum (Hrsg.). <http://www.ingeoforum.de/files/3d-stadtmodelle.pdf>

- COORS, V., HUBER, U., JOOS, G., REINELT, A., TEEGE, G., & VOERKELIUS, U. (2016), Stellungnahme des Beirates zum Projektvorhaben Digitales Landschaftsmodell (3D-DLM). unveröffentlicht.
- CZERWINSKI, A., KOLBE, T. H., PLÜMER, L. & STÖCKER-MEIER, E. (2006), Spatial data infrastructure techniques for flexible noise mapping strategies. In: Tochtermann, Scharl (eds.), Proc. of the 20th International Conference on Environmental Informatics - Managing Environmental Knowledge. Graz 2006.
- DONAUBAUER, A., ESCH, R. & KOLBE, T. H. (2016), Prozedurale Verfahren zur Generierung von 3D-Infrastrukturprojekten. In: Kolbe, T. H.; Bill, R.; Donaubaue, A. (Hrsg.): Geoinformationssysteme 2016. Wichmann.
- ESRI (2014), 3D Urban Mapping: From Pretty Pictures to 3D GIS. Redlands.
<https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/3d-urban-mapping.pdf>
- EUROCONTROL (2015), Terrain and Obstacle Data Manual. Edition 2.1.
https://www.eurocontrol.int/download/publication/node-field_download-4706-0
- GRÖGER, G., BENNER, J., DÖRSCHLAG, D., DREES, R., GRUBER, U., LEINEMANN, K., & LÖWNER, M.-O. (2005), Das interoperable 3D-Stadtmodell der SIG 3D. 130. Jg. xxx/2005 zfv.
- 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.
- HEIPKE, C. (2016), Herausforderungen bei der Erstellung von 3D-DLMs. In: Kolbe, T. H., Bill, R., Donaubaue, A. (Hrsg.): Geoinformationssysteme 2016. Wichmann.
- KADEN, R. (2014), Berechnung der Energiebedarfe von Wohngebäuden und Modellierung energiebezogener Kennwerte auf der Basis semantischer 3D-Stadtmodelle. Dissertation. Lehrstuhl für Geoinformatik, Technische Universität München
- KADEN, R. & KOLBE, T. H. (2014), Simulation-Based Total Energy Demand Estimation of Buildings using Semantic 3D City Models. International Journal of 3-D Information Modeling 3 (2), 2014, 35-53
- KEIGHTLEY, K. E. & BAWDEN, G. W. (2010), 3D volumetric modeling of grapevine biomass using Tripod LiDAR. Computers and Electronics in Agriculture (Volume 74, Issue 2), 2010, 305-312
- KOLBE, T. H. (2009), Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML. In: Lee, J.; Zlatanova, S. (Hrsg.): 3D Geo-Information Sciences. Springer.
- KOLBE, T.H., BURGER, B. & CANTZLER, B. (2015), CityGML goes to Broadway. In: Fritsch, D. (Hrsg.): Photogrammetric Week '15, Wichmann.
- KURSTEDT, R. (2013), ATKIS® Basis-DLM – Fachliche Betrachtung amtlicher Geobasisdaten und deren bundesweite Nutzung. In: Meinel G., Schumacher U. & Behnisch M. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring V, IÖR Schriften Band 61, 141-146.
- MACHL, T., EWALD, W., DONAUBAUER, A. & KOLBE, T. H. (2016), Entwicklung eines Werkzeugs zur landesweit flächendeckenden Analyse landwirtschaftlicher Transportbe-

- ziehungen in Bayern. In: Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv), Heft 3/2016, 197-205.
- NAGEL, C., KUNDE F. & ROSS, L. (2015), Solaratlas Berlin. In: Willkomm, P., Kaden, R., Coors, V. & Kolbe, T. H. (Hrsg.): Leitfaden 3D-GIS und Energie. Runder Tisch GIS e.V.
- NOUVEL, R., ZIRAK, M., DASTAGEERI, H., COORS, V. & EICKER, U. (2014), Urban energy analysis based on 3D city model for national scale applications; 5. German-Austrian IBPSA Conference, RWTH Aachen University.
http://www.ibpsa.org/proceedings/bausimPapers/2014/p1117_final.pdf
- OUDE ELBERINK, S., STOTER, J., LEDOUX, H. & COMMANDEUR, T. (2013), Generation and Dissemination of a National Virtual 3D City and Landscape Model for the Netherlands. In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 79 (2), 147-158.
- QIAO, Q., ZHANG, T. (2009), 3D-GIS for barrier lake disaster reduction and risk management. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.222.2045&rep=rep1&type=pdf>
- RADIES, C. (2013), Prozedurale Generierung von Gebäudemodellen aus Geobasisdaten und Daten der Bauleitplanung mit der Software CityEngine. Masterarbeit. Lehrstuhl für Geoinformatik, Technische Universität München
- 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., XLI-B4, 653-660.
<http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B4/653/2016/>
- TÄUBER, M.-A., & ROTH, M. (2011), GIS-basierte Sichtbarkeitsanalysen - Ein Vergleich von digitalen Gelände- und Landschaftsmodellen als Eingangsdaten von Sichtbarkeitsanalysen. zfv.
- WANG, C., WAN, T. R., & PALMER, I. J. (2007), A Real-time Dynamic Simulation Scheme for Large-Scale Flood Hazard Using 3D Real World Data; 11th International Conference Information Visualization
- WILLENBORG, B., SINDRAM, M., & KOLBE, T. H. (2016), Semantische 3D-Stadtmodelle als Datenaustauschplattform für feldbasierte Simulationen; Dreiländertagung der DGPF, OVG und SGPF, Bern. 8. Juni 2016