

True Orthophotos und Gebäude- modelle in Bayern – neue Mög- lichkeiten der Texturierung

Joachim Batscheider



Christof Beil



Josef Dorsch



Bettina Henjes



Thomas Krey



Einleitung/Motivation

Mit der Bayernbefliegung 2018 stellte das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV) den Erstellungsprozess von Digitalen Orthophotos (DOP) aus Luftbildern auf die Produktion von True-Orthophotos (TrueDOP) um. Durch den Vorteil einer verkippungsfreien Darstellung von Objekten über dem Gelände besteht auch für Gebäude eine deckungsgleiche Lagedarstellung mit anderen Geodatenansätzen der Bayerischen Vermessungsverwaltung (BVV), wie beispielsweise für die Gebäudemodelle im Detaillierungsgrad mit Standarddachformen (LoD2). Dies ermöglicht erstmals eine weitgehend automatische Texturierung der Dachformen zur weiteren Veredelung des inzwischen bayernweit verfügbaren Gebäudemodells im LoD2 [Aringer 2013].

Entwicklung zum True Ortho- photo (TrueDOP)

Die Methode des Dense Image Matching (DIM) zur Ableitung eines bildbasierten digitalen Oberflächenmodells ist im

LDBV bereits seit mehreren Jahren im Einsatz [Stolz 2013]. Seit 2015 wird ein digitales Oberflächenmodell in einer Gitterweite von 20 cm (DOM20) produziert. Seit Oktober 2016 ist ein auf 40 cm Gitterweite ausgedünntes Oberflächenmodell (DOM40) als offizielles Produkt der BVV eingeführt.

Erst mit dem DOM20 aus DIM ist es möglich geworden, die Luftbilder auch für Objekte oberhalb des Geländes geometrisch zu entzerren und daraus ein maßstabsgetreues TrueDOP abzuleiten. Im Gegensatz zum klassischen DOP, das aus der Entzerrung mit einem digitalen Geländemodell (DGM) abgeleitet ist, weist das TrueDOP keine Objektverkippen auf und minimiert sichttote Räume.



Abbildung 1: TrueDOP mit Digitaler Flurkarte Abbildung 2: Klassisches DOP mit Digitaler Flurkarte

Die Darstellung von Gebäuden und deren Dachflächen ist im TrueDOP lagerichtig zu den Katastergrundrissen (Abbildung 1), wenngleich die Dachflächen je nach Dachüberstand über die Gebäudegrundrisse im Kataster hinausragen können. Bei dem klassisch entzerrten DOP nimmt aufgrund der Zentralperspektive die Verkipfung von Gebäuden und deren Dachflächen in Abhängigkeit vom Abstand zum Luftbildmittelpunkt und der Gebäudehöhe zu und kann einen Lageversatz von mehreren Metern und den damit verbundenen sichttoten Räumen erreichen (Abbildung 2).

Im TrueDOP können diese sichttoten Räume mit Bildinformationen aus benachbarten Luftbildern ausgefüllt werden. Nur eine ausreichend hohe Überlappung bei der Luftbildbefliegung sorgt für eine hohe Zuverlässigkeit beim Füllen sichttoter Räume. Sind entsprechende Bildinhalte nicht vorhanden, müssen verbleibende Bildlücken mittels Interpolation aufgefüllt werden. Dabei gilt es, die Qualitätssteigerung des TrueDOP durch eine höhere Längs- und Querüberdeckung der Luftbildbefliegungen in Relation zu den Mehrkosten und dem datentechnischen Mehraufwand zu beurteilen.

Bei der Bayernbefliegung der BVV, die seit 2017 in einem zweijährigen Befliegungszyklus bayernweit durchgeführt wird, hat sich eine Längsüberdeckung von 80 Prozent und eine Querüberdeckung von 50 Prozent bewährt. Bei Befliegungen mit digitalen Luftbildkameras erzeugt eine hohe Längsüberdeckung grundsätzlich keine erhöhten Flugkosten, aber eine höhere Datenmenge und damit höhere Prozessierungskosten. Eine Erhöhung der Querüberdeckung geht direkt in höhere Flug- und Prozessierungskosten ein.

Nach einer prototypischen, automatischen Ableitung eines TrueDOP der Befliegungsjahrgänge 2014, 2015 und 2016 mit sukzessivem Aufbau einer Qualitätssicherung erfolgte zunächst die Umstellung der Luftbildproduktion der Bayernbefliegung auf UTM im Jahr 2017. Mit Befliegungsjahr 2018 wurde die gesamte Produktionslinie auf ein qualitätsverbessertes TrueDOP mit 20 cm Bodenauflösung umgestellt. Nur durch den Wegfall der Produktion des klassisch entzerrten DOP war es möglich, die personellen sowie hard- und softwaretechnischen Kapazitäten auf die Qualitätssicherung am DOM20 zu bündeln, die sich direkt auf die Produkte DOM40 und TrueDOP auswirkt.

Für eine flächendeckend gleichbleibende, amtliche Qualität des DOM und DOP wird eine Kombination aus automatischen und manuellen Kontroll- und Korrekturmethode angewendet. Qualitätseinschränkungen ergeben sich hauptsächlich in Bereichen fehlender oder fehlerhafter Korrelation. Bei sichttoten Bereichen, die z. B. aufgrund zu geringer Überdeckung entstehen können, werden die Datenlücken durch Interpolation aufgefüllt. Fehlerhafte Korrelation kann auftreten, wenn eine eindeutige Zuordnung korrespondierender Pixel in einem Stereobildpaar nicht möglich ist, z. B. in dunklen Schattenbereichen, bei homogener Textur, bei Reflexionen oder Objekten, die sich zwischen den Aufnahmezeitpunkten bewegt haben.

Fehlerhafte Korrelation führt zu Höhenausreißern im DOM, welche durch daraus resultierende falsche Farbzuordnungen auch im TrueDOP sichtbar werden können. Neben der Prüfung von Vollständigkeit, Lage- und Höhengenaugigkeit des kolorierten DOM20 werden daher im Rahmen der Qualitätssicherung vor allem Höhenkorrekturen vorgenommen. Höhenausreißer, wie sie z. B. im Wald oder an repetitiven Strukturen in Ackerflächen auftreten, werden automatisch detektiert und manuell korrigiert. Besonders stark treten Höhenausreißer bei Gewässerflächen auf. Diese werden in einem halbautomatischen Prozess verbessert, indem Uferlinien mittels einer Klassifikation der Farbwerte RGBI extrahiert werden und die tatsächliche Gewässerhöhe aus den DOM-Daten selbst abgeleitet wird.

Schwierig in der Korrelation sind außerdem Objekte nahe der geometrischen Auflösung der Luftbilder von 20 cm. Dies betrifft z. B. Strommasten, Stromleitungen oder Baukräne. Ebenso führt auch die Korrelation in dunklen, schattigen Bereichen sowie in sichttoten Bereichen zu Höhengungenauigkeiten im DOM. Besonders deutlich wird

dies an Gebäuden, an denen durch unscharfe Kanten im DOM die Farbzuoordnung bisweilen keine gerade, sondern eine ausgefranste Kante im TrueDOP ergibt ("Fassadenfraß"). Für die beiden letztgenannten Qualitätseinschränkungen gibt es derzeit keine wirtschaftliche Methode für eine flächendeckende Korrektur, sie bleiben daher im TrueDOP sichtbar.

Das TrueDOP von Südbayern steht für das Befliegungsjahr 2018 über die Webdienste der BVV (WMS20 und WMS40) zur Verfügung. Seit Dezember 2019 ist bayernweit ein qualitätsverbessertes TrueDOP verfügbar. Innerhalb der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) gibt es den Beschluss, dass bis 2023 alle Bundesländer ihre Produktion auf TrueDOP umstellen. Bayern hat als eines der ersten Länder diese Vereinbarung umgesetzt.

Die offizielle Produktbezeichnung „Digitales Orthophoto (DOP)“ bleibt dennoch in der Ausprägung TrueDOP erhalten.

Ein künftig mögliches, neues Folgeprodukt aus der Produktion des DOM20 ist ein vermaschtes, texturiertes Oberflächenmodell (3D-Mesh), das als Dreiecksnetz aus dem DOM abgeleitet wird und mit den dazu passenden, kleinen Bildausschnitten belegt ist (Abbildung 3).



Abbildung 3: Texturiertes 3D-Mesh

Mehrwert für LoD2-Gebäudemodelle

Herkömmliche DOP waren unter Verwendung des digitalen Geländemodells entzerrt. Daher war nur die Erdoberfläche lagerichtig dargestellt. Objekte oberhalb der Erdoberfläche wurden nur ausnahmsweise lagerichtig wiedergegeben, wenn das Objekt sich zufällig im Nadir der Aufnahme befand. Die Montage von Bildausschnitten des herkömmlichen DOP auf Dachflächen der LoD2-Gebäudemodelle war wegen der durch die Verkippung bedingten Lagefehler (Abbildung 4) normalerweise nicht sinnvoll.



Abbildung 4: Digitales Orthophoto 2015



Abbildung 5: TrueDOP 2018

Im TrueDOP sind die Dachflächen auch im Extremfall lagerichtig dargestellt (Abbildung 5). Allerdings treten Effekte des "Fassadenfraßes" an den Rändern der Dachflächen auf. In Bayern sind Dachüberstände weit verbreitet. Da LoD2-Gebäudemodelle nach AdV-Standard ohne Dachüberstände modelliert werden, wird ein etwaiger Fassadenfraß normalerweise nicht auf der grundrisstreuen Dachfläche abgebildet. Bei Gebäuden ohne Dachüberstand können aber vereinzelte dunkle Pixel am Rande der Dachfläche auftreten. Die Texturen für die Dachflächen der LoD2-Gebäudemodelle können also vollautomatisch erzeugt und mit den Gebäudemodellen verknüpft werden.

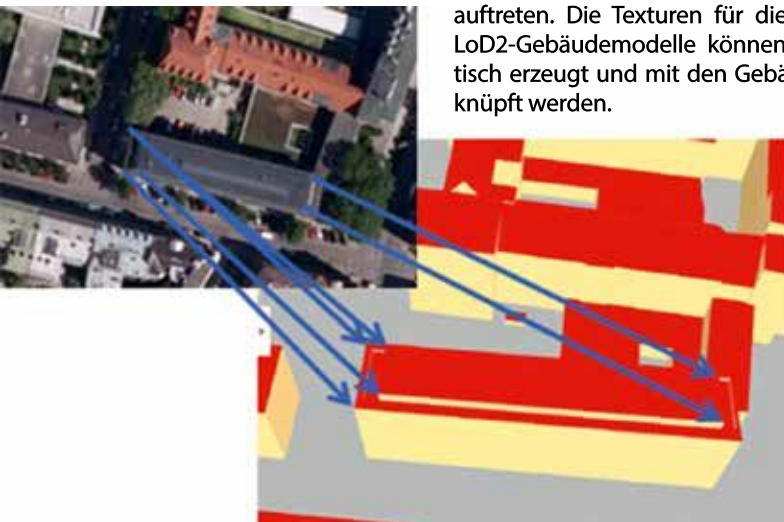


Abbildung 6:
Montage der
Dachtextur

Texturierung der Dachflächen von LoD2-Gebäudemodellen mittels FME

Die Verfügbarkeit von TrueDOP mit lagerichtiger Darstellung von verkippungsfreien Gebäuden ermöglicht die Texturierung der Dachflächen von LoD2-Gebäudemodellen. Hierzu kommt die Software „Feature Manipulation Engine“ (FME) von „SafeSoftware“ zum Einsatz, die häufig zur Bearbeitung räumlicher Daten verwendet wird. Die Software ist in der Lage, Quelldaten unterschiedlicher Formate in ein FME-internes Datenformat zu übersetzen und einzulesen. Anschließend stehen zahlreiche Funktionen zur Verfügung, mit denen beispielsweise die Geometrie oder die Semantik der Daten bearbeitet werden können. Nach erfolgter Umwandlung besteht die Möglichkeit, die erzeugten Daten in ein nahezu beliebiges Zielformat auszugeben. Der allgemeine Ablauf zur Generierung der Dachtextur aus TrueDOP für LoD2-Gebäudemodelle ist graphisch in Abbildung 7 dargestellt.

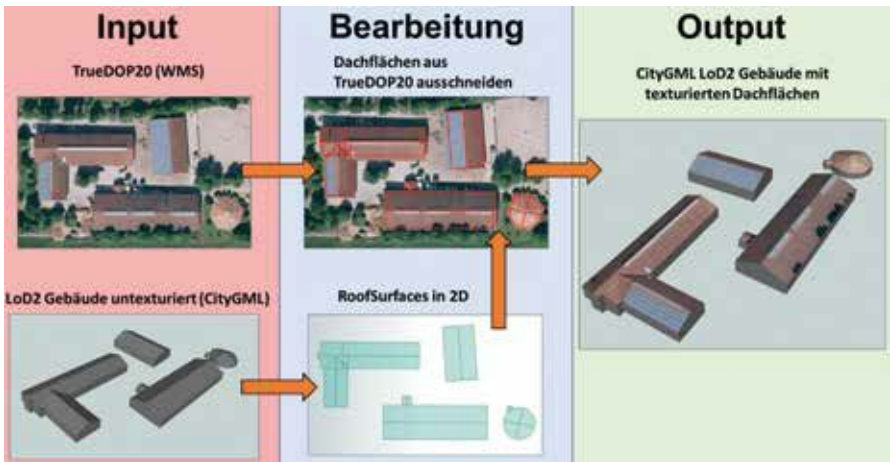


Abbildung 7: Ablauf der Texturierung der Dachflächen von LoD2-Gebäudemodellen mittels FME

Abbildung 8 zeigt denselben Vorgang als Ablaufdiagramm der verwendeten FME-Transformatoren. Die Bayerische Vermessungsverwaltung stellt unter anderem digitale TrueDOP mittels Web Map Service (WMS) zur Verfügung. Zunächst wird eine „Bounding Box“ um alle verwendeten Gebäudegrundflächen (CityGML GroundSurface) gelegt und deren Eckkoordinaten dem WMS-Aufruf übergeben. So wird lediglich der benötigte TrueDOP-Ausschnitt mit einer Bodenauflösung von 20 cm geladen. Mit Hilfe des „RasterResampler“ kann der Übergang zwischen einzelnen Bodenpixeln durch eine künstliche Auflösungssteigerung geglättet und so ein optisch ansprechenderes Ergebnis erzielt werden. Jedes LoD2-Gebäudemodell im Format CityGML besitzt ALKIS-konforme Standarddachformen, die als sogenannte „RoofSurfaces“ ge-

speichert sind. Das Dach eines einzelnen Gebäudes kann aus mehreren RoofSurfaces bestehen. Diese Dachformen werden extrahiert und in eine zweidimensionale Ebene transformiert (2D Forcer). Überlappungen der Flächen sind hierbei aufgrund der Modellierungsgrundsätze ausgeschlossen. Für jede einzelne Dachfläche wird nun eine rechteckige „Bounding Box“ erzeugt (BoundingBoxReplacer), die den Bereich abgrenzt der aus dem TrueDOP im Format GeoTIFF ausgeschnitten wird (Clipper). Dabei wird jedem dieser Bildausschnitte das eindeutige ID-Attribut der jeweils zugehörigen Dachfläche übergeben (AttributeKeeper). Dies macht in der Folge die Zuordnung der TrueDOP Ausschnitte zu entsprechenden Dachflächen möglich. Mit Hilfe geeigneter FME-Transformatoren (RasterMosaiker, AppearanceStyler, AppearanceSetter) lässt sich so eine Texturierung realisieren. Ein CityGML-Gebäude (Building) besteht aus „WallSurfaces“ und „GroundSurfaces“, die jedoch zur Texturierung der Dachflächen nicht benötigt und deshalb unverändert ausgegeben werden. Abschließend werden die erzeugten Modelle als CityGML-konforme LoD2-Gebäudeobjekte mit texturierten Dachflächen exportiert. In der Spezifikation zum verwendeten Format CityGML ist hierzu das sogenannte „Appearance Modul“ verankert. Eine Texturierung von CityGML-Objekten führt demnach nicht zur Anhebung der Modelle in die nächste LoD-Stufe. Es handelt sich nach wie vor um LoD2-Gebäudemodelle, nun jedoch um realistische Dachtexturen angereichert. Die Ausgabe besteht neben der CityGML-Datei zusätzlich aus einem Ordner, in dem alle Einzeltexturen gespeichert sind. Im CityGML-Dokument verweist jede „RoofSurface“ auf die Textur mit zugehöriger ID. Dies führt zu einer entsprechenden Steigerung der Datenmenge pro Gebäude und damit auch des benötigten Speicherplatzes. Es ist daher nicht praktikabel, die beschriebene Operation für den gesamten Datenbestand der Gebäudemodelle durchzuführen. Der vorgestellte FME-Workflow könnte jedoch in bestehende FME-Abläufe eingebunden werden und würde somit die bedarfsgerechte Generierung texturierter 3D-Gebäudemolldatensätze für ausgewählte Bereiche ermöglichen. Aktuell sind texturierte Gebäudemodelle im CityGML-Format nicht Bestandteil der Produktpalette der BVV. Zur Visualisierung können auch 3D-PDFs erstellt werden. Unterschiedliche Aktualitätsstände von 3D-Gebäudemodellen und TrueDOP können in Einzelfällen zu inkorrekten Texturen führen.

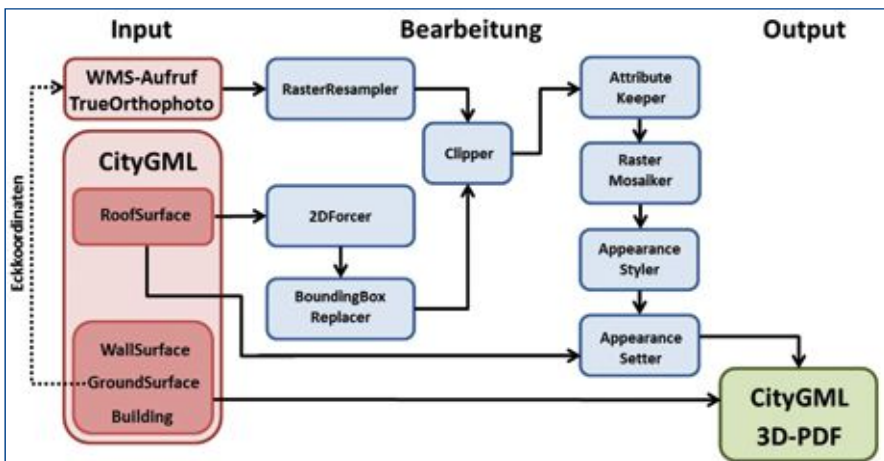


Abbildung 9 zeigt Gebäudemodelle mit texturierten Dachflächen. Sämtliche Dächer sind unabhängig von Größe oder Form mit der zugehörigen Textur versehen. Insgesamt kann durch die Kombination der beiden Datensätze eine optische Qualitätssteigerung des 3D-Gebäudemodells erreicht werden.



Abbildung 9: 3D-Gebäudemodelle mit texturierten Dachflächen

Archivierung in 3D-CityDB

Für die Archivierung und Datenhaltung der CityGML-Daten bietet sich die Open Source Datenbank 3D-CityDB an. Aufgesetzt auf die relationalen Oracle- oder Postgres/GIS-Datenbanken können darin mittels dem frei verfügbarem Java-Programm Importer/Exporter beliebig große CityGML-Dateien unter den Betriebssystemen Windows, Linux und MacOS X eingespielt werden. Diese Datenbank ermöglicht grundsätzlich die Speicherung texturierter Gebäudemodelle. Die Datenbankstruktur erlaubt es sogar, für ein Gebäude mehrere Texturierungen anzulegen. Die BVV nützt diese Datenbank, um ihre ca. 9 Mio. Gebäudemodelle in UTM vorzuhalten und diese den Kunden zur Verfügung stellen zu können. Allerdings werden zurzeit keine texturierten Gebäude abgegeben. Um den Produktivbetrieb nicht zu stören, werden die texturierten Gebäude in einer getrennten Datenbank gehalten oder erst bei der Abgabe texturiert. Der Vorteil einer Texturierung zum Zeitpunkt der Datenabgabe liegt in der stets aktuellen Textur. Diese Variante würde aber möglicherweise die Leistungsfähigkeit der Datenabgabe beeinträchtigen. Aussagekräftige Tests zur jeweiligen Performance der unterschiedlichen Varianten wurden aber bisher nicht durchgeführt.

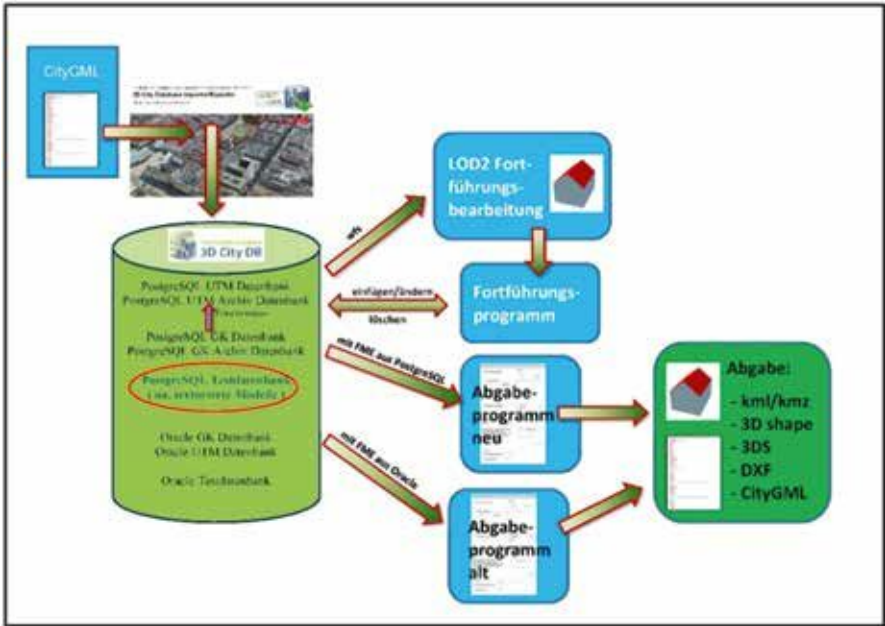


Abbildung 10: Datenhaltung und Verarbeitung am LDBV Bayern

Weitere Möglichkeiten

Wünschenswert wären Stadtmodelle, die nicht nur texturierte Dachflächen enthielten, sondern auch texturierte Fassaden. Da in TrueDOP keine Bildinformation von senkrechten Flächen enthalten ist, scheidet das TrueDOP als Datenquelle für Fassadentexturen aus. Allerdings kann die dreidimensionale Punktwolke, die zum bildbasierten Oberflächenmodell, dem DOM40 weiterverarbeitet wird, mit Dreiecksmaschen verbunden werden. Diese Dreiecksmaschen können mit bestmöglichen Bildinhalten der Luftbilder belegt werden. Dieses sogenannte „texturierte Mesh“ wird künftig aus den Luftbildern der Bayernbefliegung flächendeckend produziert werden können.



Abbildung 11: Günstige Fassadentexturen



Abbildung 12: Ungünstige Fassadentexturen

Bei den gegenwärtigen Bildflugparametern der Bayernbefliegung lassen sich nicht für alle Fassaden gute Texturierungen extrahieren (Abbildungen 11 und 12). Die Qualität der Fassadentextur hängt vor allem von der Sichtbarkeit und der Lage des zu texturierenden Objektes in den Nadirluftbildern ab.

Stattdessen böte sich die Möglichkeit, die vorherrschende Fassadenfarbe jeder Fassade aus dem 3D-Mesh abzuleiten und dies anstelle einer texturierten Fassade mit dem Gebäudemodell zu verknüpfen. Dies würde das Anwachsen des Datenvolumens beim Streaming von Gebäudemodellen über das Internet minimieren, wie es auch mit der 3D-Funktion des BayernAtlas praktiziert wird.

Literatur

Stolz, M.: Digitale Oberflächenmodelle aus Bildkorrelation, Mitteilungen des DVW Bayern, Heft 2/2013, S. 139-150.

Hümmer, F., Roschlaub R.: Die Zukunft ist dreidimensional – 3D-Gebäudemodelle in Bayern, Mitteilungen des DVW Bayern, Heft 2/2014, S. 165-176

Aringer, K., Dorsch, J., Roschlaub, R.: Erfassung und Fortführung von 3D-Gebäudemodellen auf Basis von Airborne LiDAR-Daten, ImageMatching und Katasterinformationen, Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv), Heft 6, S. 405-414, 2013 III