
Automatisierte Erzeugung von LOD3-Modellen aus 3D-Punktwolken durch Multi-Stereo-Bildzuordnung

Norbert HAALA, Patrick TUTZAUER und Susanne BECKER

Institut für Photogrammetrie · Universität Stuttgart · Geschwister-Scholl-Strasse 24 · 70174 Stuttgart
E-Mail: Norbert.Haala@ifp.uni-stuttgart.de

Zusammenfassung

Der Beitrag beschreibt die automatisierte Erfassung von Fassadenstrukturen durch ein grammatikbasiertes Verfahren unter Verwendung einer Zellzerlegung. Datengrundlage sind zum einen existierende LOD2 Gebäudemodelle, zum anderen dichte 3D-Punktwolken, die durch geeignete Verfahren aus stark überlappenden Aufnahmen der Gebäudefassaden abgeleitet werden. Diese Aufnahmen können entweder mittels Schrägluftbildkameras oder durch Mobile Mapping Systemen erstellt werden. Beschrieben wird zunächst der Stand der Technik bei der bildbasierten Erfassung von 3D-Punktwolken in urbanen Gebieten, anschließend wird das darauf aufsetzende Verfahren der LOD3-Gebäuderekonstruktion diskutiert.

1 Einleitung

Die automatische Erzeugung von Gebäudemodellen aus Fernerkundungsdaten ist seit mehr als 20 Jahren ein intensiv bearbeitetes Forschungsthema (HAALA & KADA 2010). Existierende Rekonstruktionssysteme basieren unter anderem auf 3D-Punktwolken oder 2.5D Digitalen Oberflächenmodellen (DOM). Während zur Erfassung dieser Daten ursprünglich vor allem flugzeuggestütztes LiDAR eingesetzt wurde, liefern moderne Mehrbildzuordnungsverfahren 3D-Punktwolken und DOM in beachtlicher Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Dichte. Stehen Luftbilder mit einer ausreichenden Überdeckung zur Verfügung, lassen sich 3D-Punktwolken mit einer Dichte ableiten, die der Bodenpixelauflösung der verwendeten Bilder entspricht. Die automatisierte Interpretation flugzeuggestützt erfasster 3D-Daten ermöglicht in der Regel jedoch nur die Ableitung von LOD2-Gebäudemodellen. Während die dafür hauptsächlich zu erfassenden Gebäudedächer und –umrisse detailliert abgebildet werden, steht aufgrund der verfügbaren Blickrichtung Information über die Gebäudefassaden für die Erfassung von LOD3-Gebäudemodellen nur sehr eingeschränkt zur Verfügung. Aus diesem Grund kommen hierfür häufig Daten terrestrischer Messsysteme zum Einsatz. Die Extraktion von Fassadenelementen aus LiDAR Punktwolken eines terrestrischen Mobile Mapping Systems sowie deren Interpretation durch einen grammatikbasierten Ansatz zur Erfassung von LOD3-Modellen wird beispielsweise von (BECKER, 2011) beschrieben.

Alternativ zur Erfassung der Punktwolken durch LiDAR nutzen kameragestützte Mobile Mapping Systeme Verfahren der dichten Bildzuordnung zur automatisierten Ableitung dichter 3D-Punktwolken in urbanen Gebieten. Die Erfassung kompletter Stadtgebiete durch solche Systeme wird durch eine Reihe kommerzieller Dienstleister angeboten (NEBIKER &

EUGSTER 2014), (BEERS, 2014). Generell ist eine terrestrische Aufnahme für größere Bereiche gegenüber der luftgestützten Erfassung relativ aufwendig. Zudem sind die möglichen Aufnahmestandpunkte auf Straßen beschränkt. Als Alternative hat sich deshalb die Erfassung von Schrägluftbildern zu einem wichtigen Marktsegment entwickelt. Eine Übersicht über verfügbare Kamerasysteme gibt (LEMMENS 2014). Bildflüge mit solchen Kameras stellen Gebäudefassaden und andere vertikale Objekte des Straßenraums nahezu vollständig dar und liefern so eine wichtige Informationsquelle zur Datenerfassung in urbanen Gebieten.

Im folgenden Abschnitt wird zunächst der Stand der Technik zur bildbasierten Ableitung von 3D-Punktwolken durch dichte Mehrbildstereoanordnung insbesondere im Hinblick auf die erreichbare Qualität an Gebäudefassaden diskutiert. Kapitel 3 stellt dann ein auf dem Ansatz von (BECKER, 2011) basierendes Verfahren zur Nutzung dieser Daten für die Erfassung von LOD3 Gebäudemodellen vor, das zur Nutzung dieser 3D-Punktwolken adaptiert wurde.

2 Dichte Mehrbildzuordnung in urbanen Gebieten

Automatische Stereobildzuordnungsverfahren werden seit mehr als zwei Jahrzehnten zur Ableitung von Höhenmodellen aus Luftbildern genutzt. Ein erheblicher Qualitätssprung ermöglichte dabei die Entwicklung (semi-)globaler Zuordnungsverfahren wie der Ansatz von (HIRSCHMÜLLER, 2008). Stehen Bildflüge mit ausreichend großer Überdeckung zur Verfügung, ermöglichen derzeitige Verfahren eine genaue, vollständige und detaillierte bildbasierte Erfassung von 3D-Punktwolken und Digitalen Höhenmodellen. Für die dabei durchgeführte dichte Multi-Stereo-Bildzuordnung von Senkrechtaufnahmen stehen eine Reihe kommerzieller Verfahren zur Verfügung (HAALA, 2013). Während bei der Auswertung solcher Standardbildflüge üblicherweise die Rekonstruktion eines 2.5D DHM-Rasters ausreichend ist, erfordert die Auswertung von Schrägluftbildern und terrestrischen Szenen eine allgemeine 3D Auswertung zur Ableitung (vermaschter) 3D-Punktwolken. Darüber hinaus stellen die bei solchen Aufnahmekonfigurationen auftretenden Verdeckungen und Maßstabsänderungen höhere Anforderungen an die Robustheit des eingesetzten Verfahrens.

2.1 Schrägluftbilder

Schrägluftbild- oder Oblique-Kameras kombinieren häufig eine nadirblickende mit vier jeweils geneigten Kameras. Wie Abbildung 1 am Beispiel von Aufnahmen einer Leica RCD30 Oblique Penta zeigt, ist damit im Prinzip die komplette Erfassung von Gebäuden einschließlich ihrer Fassaden möglich. Die Nutzung von Schrägluftbildern zur automatischen Ableitung dichter 3D-Punktwolken in urbanen Gebieten bietet somit ein großes Anwendungspotential bei der Erfassung von 3D Stadtmodellen. Im Vergleich zur dichten Mehrbildstereoanordnung in Standard-Nadirbildern stellen jedoch Schrägluftbilder zusätzliche Herausforderungen. Diese werden insbesondere durch den großen Maßstabsunterschied von Objekten im Vorder- und Hintergrund sowie die vielen verdeckten Bereiche verursacht. Bedingt durch die Blickrichtung muss somit bei der Zuordnung ein erheblich größerer Suchbereich ausgewertet werden, was eine Bereitstellung und Nutzung effizienter Datenstrukturen bedingt (ROTHERMEL ET. AL. 2014). Das Beispiel in Abbildung 1 ist Teil eines Testdatensatzes mit dem die Leistungsfähigkeit verfügbarer dichter Stereoanord-

nungsverfahren für unterschiedliche Luftbilder untersucht werden soll (CAVEGN ET.AL. 2014).



Abb. 1: Schrägluftbild mit vier Blickrichtungen und Nadirbild.



Abb. 2: 3D-Punktwolke aus dichter Bildzuordnung von Schrägluftbildern.

Eine exemplarisch aus einem Schrägluftbild-Datensatzes abgeleitete 3D-Punktwolke in einer urbanen Umgebung zeigt Abbildung 2. Hierfür wurde die Software SURE eingesetzt

(ROTHERMEL ET. AL. 2012). Mit einem solchen aktuellen Softwaresystem ist eine weitgehend vollständige Rekonstruktion möglich, bei der 3D Strukturen der Gebäude wie Balkone erfolgreich erfasst werden. Die Genauigkeit und Auflösung der Punktwolke entspricht dabei näherungsweise der Auflösung der verwendeten Bilder, die in diesen Beispielen bei rund 10cm liegt. Höhere Auflösungen und damit ein noch höherer Detaillierungsgrad ist durch eine Modifikation der Flugkonfigurationen, insbesondere beim Einsatz von UAV (Unmanned Aircraft Vehicles) möglich. Eine weitere Alternative stellt die im folgenden Abschnitt beschriebene terrestrische Datenerfassung mit einem Mobile-Mapping-System dar.

2.2 Mobile Mapping Systeme

Eine Punktwolke, die mittels eines solchen kamerabasierten Mobile Mapping Systems generiert wurde (BEERS, 2014) zeigt Abbildung 3. Diese Plattform nutzt zwei Fisheye Kameras zur Erfassung von Panoramabildern. Die Rekonstruktion der Aufnahmestandpunkte erfolgt durch Kombination der GPS/INS-Messungen mit einem Structure-from-Motion Ansatz mit integrierter Bündelblockausgleichung. Bildbereiche in den Panoramabildern die hauptsächlich Himmel abbilden, werden ausmaskiert. Die Stereobildzuordnung nutzt den DAISY-Deskriptor zur Bestimmung der Zuordnungskosten für die Tiefenschätzung (TOLA ET. AL., 2010). Durch die dichte Zuordnung der Panoramabilder ergibt sich eine hohe Redundanz der Punktwolke, die zum Abschluss des Verfahrens gefiltert und ausgedünnt wird.

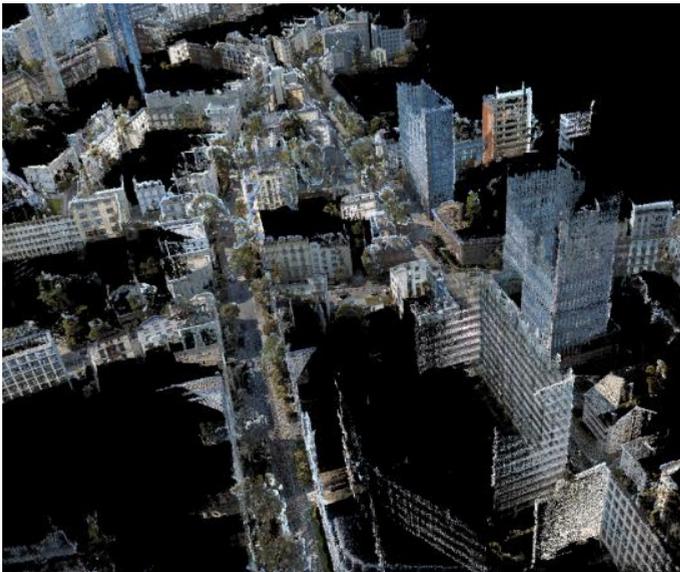


Abb. 3:
3D-Punktwolke aus
Aufnahmen eines Mo-
bile-Mapping-Systems.

Mit einem solchen Mobile Mapping System lassen sich im Prinzip große Flächen im urbanen Raum relativ schnell und kostengünstig erfassen. Systembedingt bewegt sich die mobile Plattform jedoch nur auf den durch Straßen vorgegebenen Routen. Dadurch kann das Fahrzeug nicht immer alle relevanten Gebäudeseiten aufnehmen. Zudem führen andere Fahrzeuge, Vegetation oder Fußgänger zu Abschattungen und Verdeckungen bei den zu erfassenden Gebäuden. Weiterhin können hohe Gebäude durch den begrenzten Blickwinkel

des Kamerasystems vertikal nicht vollständig erfasst werden. All dies führt zu unvollständigen Gebäude-Punktwolken. Hierbei zeigt sich der Vorteil eines grammatikbasierten Rekonstruktions-Ansatzes, der im folgenden Abschnitt für die Erfassung und Modellierung der Gebäudefassaden genutzt wird. Dabei wird für die Fassadenteile mit einer genügend großen Punktabdeckung eine Rekonstruktion durchgeführt und anschließend eine Grammatik abgeleitet. Mit Hilfe dieser Grammatik können im Anschluss auch nicht oder nur ungenügend erfasste Gebäudeteile synthetisch modelliert werden.

3 Erfassung und Modellierung von Gebäudefassaden

Kommerzielle Werkzeuge wie das in (KADA, 2009) vorgestellte automatische Verfahren zur Generierung von 3D Stadtmodellen ermöglichen die effiziente Erfassung kompletter Städte. In der Regel weisen die so abgeleiteten Modelle jedoch nur eine grobe Gebäudestruktur auf, die im LOD2 lediglich die Außenhülle und die Dachstruktur des Gebäudes repräsentiert. Häufig ist eine detaillierte Darstellung des Gebäudes erforderlich, die Türen, Fenster, Vorsprünge usw. enthält. Diese sind nicht nur zur Visualisierung sondern insbesondere aus semantischer Sicht wichtig für eine Vielzahl von Anwendungen, wie zum Beispiel 3D-Fußgängernavigation, Evakuierungs-/Katastrophenplanungen oder auch energetische Analysen. Aus diesem Grund wurde ein semi-automatischer Ansatz zur Ableitung von LOD3-Gebäudemodellen entwickelt.

3.1 Fassadenrekonstruktion

Ziel ist es, auf Basis der erzeugten Punktwolke und dem LOD2-Gebäudemodell Fassadenprimitive wie Fenster, Türen, Balkone und Vorsprünge zu rekonstruieren. Dabei ist es prinzipiell unerheblich, ob die Punktwolke der Fassade durch LiDAR-Messung oder Stereobildzuordnung erzeugt wurde. Der Algorithmus wurde so konzipiert, dass standardisierte Datenformate als Ein- und Ausgabe dienen. Für die Punktwolke wird hierbei das LAS Format verwendet. Neben der Koordinate kann für jeden Punkt jeweils Intensitäts- bzw. Farbinformation gespeichert werden. Der OGC Standard CityGML hält zum einen die Möglichkeit bereit, Gebäude in unterschiedlichen Genauigkeitsstufen (LOD) gleichzeitig zu hinterlegen, zum anderen lassen sich neben den geometrischen auch semantische Informationen mit abspeichern. Daher dient CityGML nicht nur als Eingabeformat für das grobe Gebäudemodell, sondern auch als Ausgabe für das angereicherte LOD3 Modell.

In der derzeitigen Implementierung ist es entscheidend für die Funktionsfähigkeit des Lösungsansatzes, dass sich zu rekonstruierende Gebäudeteile wie Türen und Fenster signifikant von der Hauptfassadenebene in der Tiefe unterscheiden. Stark verrauschte Fassadenpunktwolken, wie sie bei bildbasierten Verfahren bei ungünstigen Blickwinkeln auftreten können, verhindern die Trennung von Fassade und den darin enthaltene Primitiven und damit die erfolgreiche Rekonstruktion von Fenster- oder Türelementen. Probleme der Bildzuordnung ergeben sich vor allem für Glasflächen. Hier zeigt sich der Vorteil der Messung mit LiDAR-Pulsen, die Glas durchdringen so dass Fenster als „Löcher“ in der Fassade repräsentiert werden. Demgegenüber kann die Farbinformation in Punktwolken aus Stereobildzuordnung gut für die Interpretation genutzt werden. Ein entsprechende Erweiterung des Ansatzes ist für die Zukunft geplant.

3.1.1 Erzeugung von 3D-Zellen

Zunächst wird eine Ebene in die Fassaden-Punktwolke geschätzt. Basierend auf der geschätzten Ebene lässt sich eine Vor-Segmentierung zwischen Fassaden- und Nichtfassadenpunkten (Abbildung 4) durchführen. Durch Aufteilung der Punktwolke in horizontale und vertikale Punktlisten lässt sich eine Detektion der Fensterkanten in jeweils beide Richtungen durchführen. Die extrahierten Kanten dienen als Grundlage für eine 3D-Zellerzerlegung. Dabei wird das grobe Gebäudemodell anhand der zuvor gefundenen Kanten und der geschätzten Fenstertiefe in 3-dimensionale Zellen unterteilt. Die so entstandenen Zellen sind zunächst nur von rein geometrischer Natur. Im nachfolgenden Schritt erfolgt durch Klassifizierung die Anreicherung um Semantik. Abbildung 5 zeigt links die Fensterkanten und die resultierende Zellerzerlegung, rechts das aus den Zellen rekonstruierte Modell.

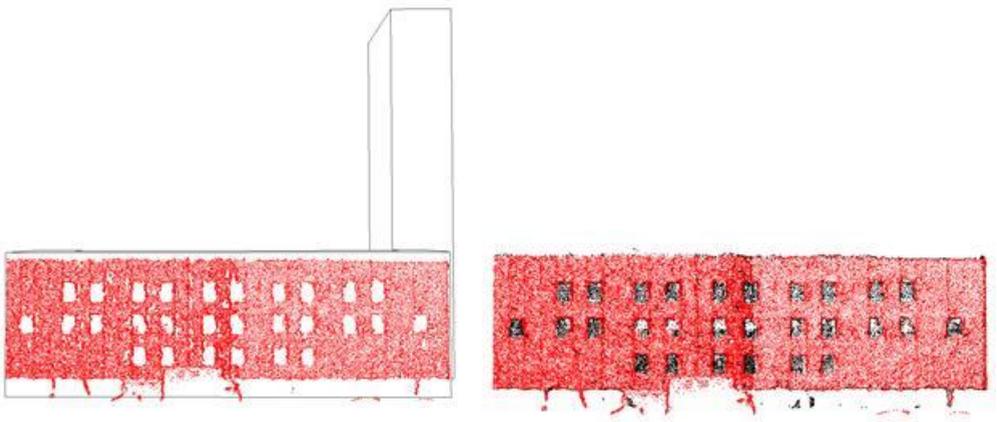


Abb. 4: Links: Fassadenpunktwolke überlagert mit LOD2 Modell; Rechts: Klassifizierung in Fassadenpunkte und Nichtfassadenpunkte.

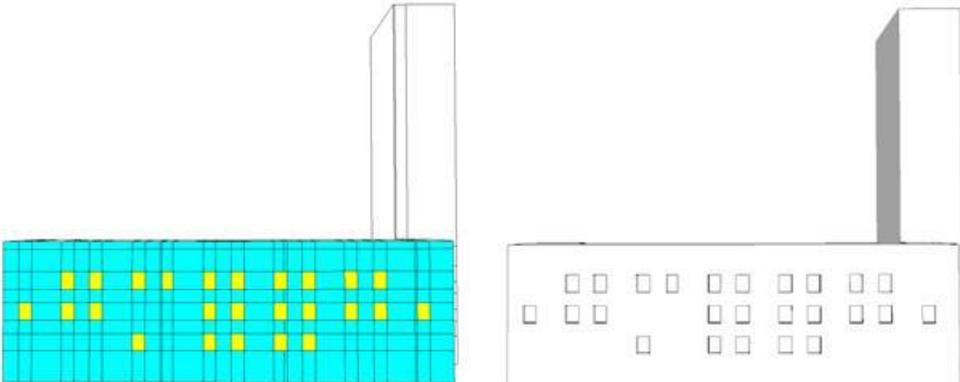


Abb. 5: Links: Ergebnis nach Zellerzerlegung; Rechts: Rekonstruiertes Modell.

3.1.2 Klassifizierung

Die Unterteilung der 3D-Zellen erfolgt in Fassaden- und Gebäudezellen. Für die Modellierung des Gebäudes sind lediglich die Fassadenzellen von Interesse, da diese der zu rekon-

struierenden Geometrie entsprechen. Die Fassadenzellen lassen sich wiederum in Wand- und Fenstersegmente klassifizieren. Dies erfolgt durch Analyse der prozentualen Flächenabdeckung von Fassadenpunkten pro Zelle. Hierzu wird die komplette Fassade mit einem regelmäßigen Raster überzogen und so eine Art Bildmatrix erstellt (Abbildung 6 oben).

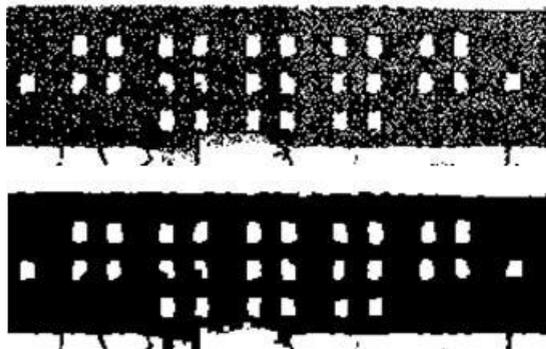


Abb. 6:

Oben: Initiale Punktverfügbarkeitskarte; Unten: Punktverfügbarkeitskarte nach Anwendung morphologischer Operationen *Opening* und *Closing*.

Die Fassadenpunkte werden hierfür auf die Fassadenebene projiziert. Alle Pixel innerhalb der Bildmatrix, die keine projizierten Fassadenpunkte als Inhalt haben werden auf den Wert 1, die Pixel mit Fassadenpunkte auf 0 gesetzt. So ergibt sich ein Binärbild, das die Punktverfügbarkeit auf der Fassade repräsentiert. Durch die morphologischen Operatoren *Opening* und *Closing* werden anschließend falsche Fensterpixel, beispielsweise verursacht durch Verdeckungen oder variierende Punktdichte, korrigiert. Abbildung 6 zeigt die Punktverfügbarkeitskarte vor und nach diesen morphologischen Operationen. Anschließend erfolgt die Klassifizierung der 3D-Zellen. Dazu wird für die Zellen der Bildmatrix der jeweilige Anteil an Wandpixeln berechnet. Ist eine Zelle zu mehr als einem geforderten Prozentsatz mit Wandpixeln überdeckt, so wird von einer Fassadenzelle ausgegangen. Liegt die Abdeckung unter dem geforderten Wert, so erfolgt die Klassifizierung in eine Fensterzelle.

3.2 Modellierung

3.2.1 Ableitung von Modellwissen

Die klassifizierten Primitive dienen zusammen mit dem LOD2-Gebäudemodell als Eingabe für den Modellierungsprozess. Zunächst wird die Fassade durch horizontale Schnittebenen in Stockwerke unterteilt. Ist die Anzahl der Stockwerke im LOD2-CityGML-Modell hinterlegt, wird diese Information genutzt. Durch horizontale und vertikale Unterteilungen wird die Fassade in so genannte Kacheln segmentiert. Eine Kachel besteht entweder aus einem homogenen Wandteil oder enthält ein Geometrieobjekt. So entsteht eine Abfolge von Fassaden- und Geometrie-Kacheln. Diese gilt als topologisch korrekt, wenn sie mit einer Wandkachel beginnt und abschließt und sich dazwischen beide Kacheltypen jeweils abwechseln. Derselbe Kacheltyp darf also nicht zweimal aufeinander folgen. In einem sequenziellen Cluster-Verfahren werden die Kacheln anhand ihrer Größe und Art klassifiziert. Das Ergebnis sind verschiedene Kacheltypen, denen entsprechend ein Symbol zugeordnet wird. Die Relation beziehungsweise Abfolge dieser Symbole wird nun tiefergehend analysiert. Ziel ist es, die Symbole zu komprimieren, indem redundante Abfolgen durch ein neues Symbol ersetzt werden. Dadurch lassen sich hierarchische Beziehungen unter den Kacheln detektieren und durch Ersetzungsregeln ausdrücken. Durch die hierarchische Struktur lassen sich ebenso Produktionsregeln ableiten. Die komprimierte Kachelsequenz

kann beispielsweise genutzt werden, um Symmetrien in der Fassadenebene zu detektieren. Dieses Wissen kann wiederum für die Modellierung verwendet werden. Die Gesamtheit der Produktions- und Ersetzungsregeln stellt die Fassadengrammatik dar.

3.2.2 Modellbasierte Vervollständigung

Die zuvor gewonnene Fassadengrammatik lässt sich nun verwenden um die restlichen Fassaden eines Gebäudes zu synthetisieren. Basierend auf der Anzahl der zuvor bestimmten Stockwerke wird nun für jedes eine Anwendung der Produktionsregeln vollzogen. Begonnen wird jeweils in der Fassadenmitte, da diese zumeist auch die Haupterscheinungsmerkmale einer Fassade darstellt. So werden zuerst die mittleren und anschließend die restlichen Fassadenteile von links nach rechts mit neuen Kacheln modelliert. Kommen für die Erstellung neuer Kacheln jeweils mehrere Produktionsregeln in Frage, so wird wahrscheinlichkeitsbasiert eine entsprechende Regel selektiert.

3.3 Semi-automatische Schnittstelle

Zur flächendeckenden Erfassung detaillierter 3D-Gebäudemodelle wurde zusätzlich eine Benutzer-Schnittstelle entwickelt, die Interaktion mit dem Stadtmodell und der Punktwolke erlaubt. Abbildung 7 zeigt die grafische Benutzeroberfläche mit einer Visualisierung von Punktwolke und LOD2-Gebäudemodell.



Abb. 7: Ansicht innerhalb der grafischen Benutzeroberfläche: CityGML Modell überlagert mit Mobile Mapping Punktwolke.

3.3.1 Grafische Oberfläche

Der Anwender kann durch Selektion einer Fassade die Rekonstruktion (Abbildung 8) für dieses Gebäude initiieren. Dabei lassen sich Parameter für eine Schnitt-Box um die selektierte Fläche definieren. Dies gewährleistet das Einbeziehen aller für die Rekonstruktion relevanten bzw. dem Entfernen von der Fassade nicht zugehörigen 3D-Punkte, was insbesondere in Fällen von Gebäuden mit Balkonen oder Vorsprüngen wichtig ist.

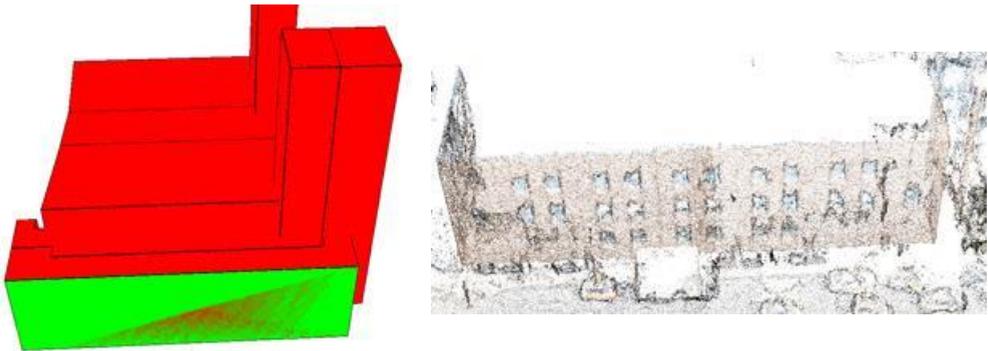


Abb. 8: Links: Vom Benutzer selektierte Fassade zur Rekonstruktion; Rechts: Punktwolke des entsprechenden Gebäudes.

3.3.2 Fassadenselektion

Zur Definition einer Schnitt-Box für die selektierte Fassade erfolgt eine Transformation der Punktwolke in ein lokales, auf die Fassade bezogenes Koordinatensystem. Punkte, die innerhalb der Fassadengrenzen und der zuvor definierten Toleranz der Schnittbox liegen werden selektiert und für die weiterführende Prozessierung verwendet. Zusätzlich zur Definition der Parameter der Schnittbox lassen sich noch einige andere Parameter vor der Fassadenrekonstruktion modifizieren. Hierzu zählt die Wahl, ob Gebäudevorsprünge explizit modelliert werden sollen oder nicht. Ist von relativ flachen Fassadenstrukturen auszugehen, empfiehlt es sich diese Option zu deaktivieren. Weiterhin lässt sich die Anzahl und Richtung der Unterteilung der Fassadenpunktwolke auswählen. Je nach Aufbau und Struktur der Fassade kann eine Anpassung dieser Parameter zu deutlich besseren Ergebnissen führen. Im Falle einer Fassade, in deren Mitte sich beispielsweise ein Erker über mehrere Stockwerke befindet, sollte eine vertikale Teilung mit mindestens zwei oder drei Teilungsebenen gewählt werden. Dadurch wird gewährleistet, dass Punkte, die hinter der eigentlichen Fassadenebene liegen, auch als solche klassifiziert werden. Würde im oben genannten Fall nur eine Teilungsebene gewählt, hätte dies zur Folge, dass die geschätzte Ebene sich auf Grund des Erkervorsprungs näher zum Betrachter hin verschieben und damit Punkte hinter der tatsächlichen Fassadenebene nicht mehr als solche klassifiziert würden. Nach Selektion der Parameter kann die Fassadenrekonstruktion gestartet und das anschließende Ergebnis betrachtet werden. Sollte dieses nicht zufriedenstellend sein, gibt es die Möglichkeit die zuvor genannten Parameter anzupassen und erneut eine Rekonstruktion vorzunehmen.



Abb. 9:
Fassaden-Ausschnitt von
Abbildung 8.

Abbildung 9 zeigt exemplarisch eine Fassadenpunktwolke, die basierend auf vorher definierten Schnittboxparametern selektiert wurde.

3.4 Ergebnisse

Nachfolgend werden einige Ergebnisse dargestellt, die der hier präsentierte Rekonstruktions- und Modellierungsansatz liefert. Abb. 10 zeigt das Ergebnis für das Modell, welches in den vorherigen Schritten jeweils als Beispiel verwendet wurde.

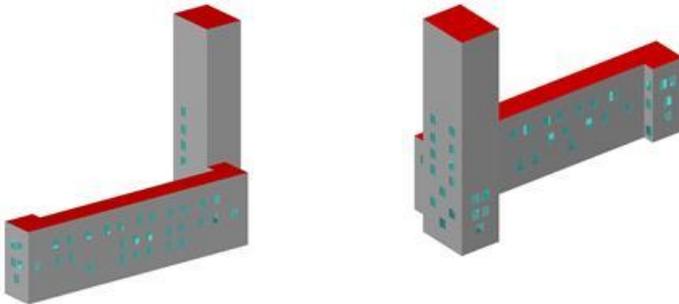


Abb. 10: Mittels des vorgestellten Ansatzes generiertes CityGML LOD3 Modell des zuvor in den einzelnen Teilschritten gezeigten Beispiels.

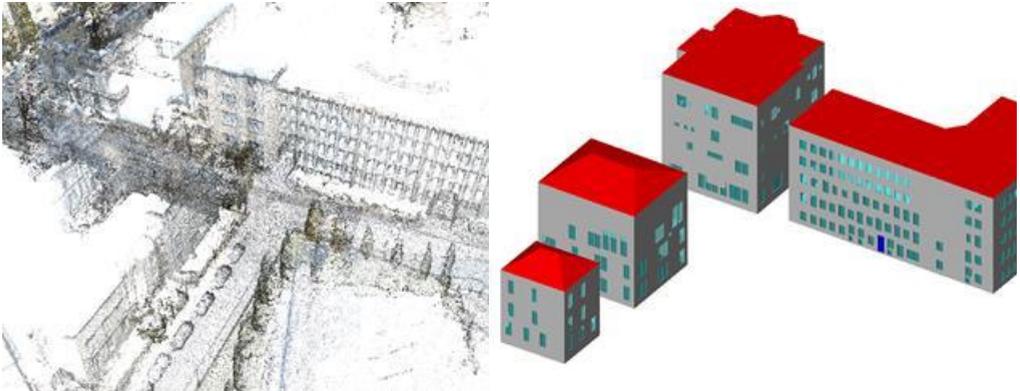


Abb. 11: Links: Punktwolke eines Bürokomplexes mit angrenzenden Gebäuden; Rechts: Zugehörige rekonstruierte LOD3 Modelle.

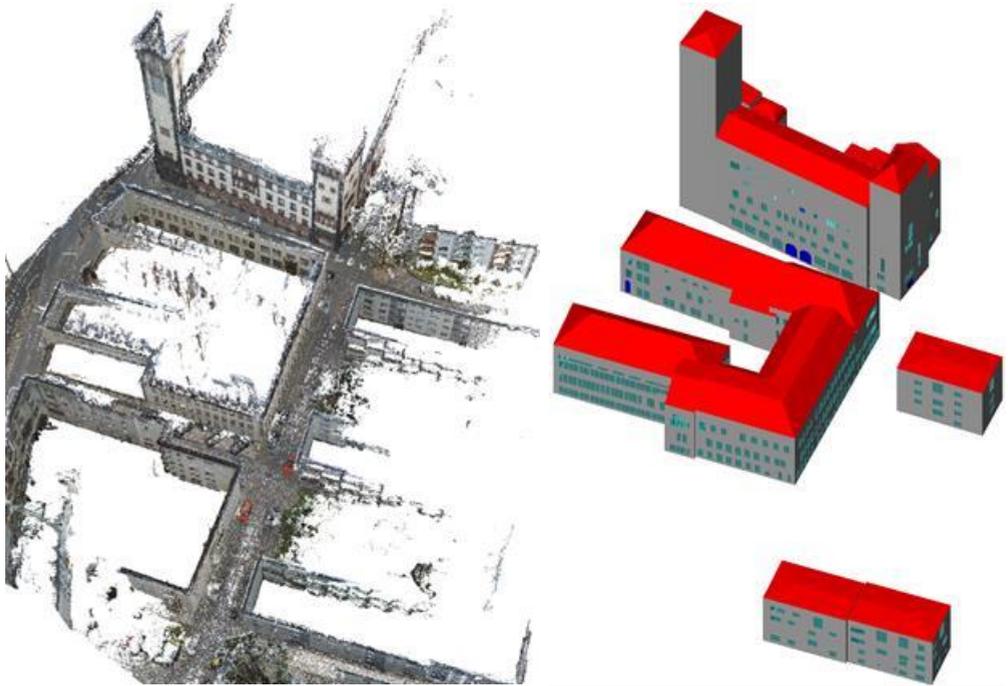


Abb. 12: Links: Punktwolke eines Gebäudeblocks; Rechts: Erzeugte CityGML LOD3 Modelle für das ausgewählte Gebiet

4 Zusammenfassung und Diskussion

Verfahren der dichten Stereobildzuordnung ermöglichen die Bereitstellung dichter 3D-Punktwolken für Gebäudefassaden unter anderem aus Aufnahmen von Mobile Mapping Systemen oder Schrägluftbildern. Wie die im Artikel vorgestellten ersten Ergebnisse zeigen, ermöglicht die Interpretation der in diesen Punktwolken repräsentierten 3D-Struktur im Prinzip die automatische Erfassung detaillierter LOD3-Gebäudemodelle. Neben der bisher realisierten rein geometriebasierten Analyse der Punktwolken soll in Zukunft insbesondere auch die ebenfalls enthaltene Farbinformation genutzt werden, um die Effizienz und Zuverlässigkeit des Verfahrens weiter zu steigern.

Literatur

- BECKER, S. (2011), Automatische Ableitung und Anwendung von Regeln für die Rekonstruktion von Fassaden aus heterogenen Sensordaten. Dissertation. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 658, München, 156 pages, ISBN 978-3-7696-5070-9, ISSN 0065-5325.
- BEERS, B. (2014), Collection and use of 3D geographic image data at CycloMedia <https://collegerama.tudelft.nl/Mediasite/Play/57de2aaff44b46a194ed4f657123407c1d>

- CAVEGN, S., HAALA, N., NEBIKER, S., ROTHERMEL, M., TUTZAUER, P. (2014), Benchmarking high density image matching for oblique airborne imagery, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, Volume XL-3,
- HAALA & N. KADA, M. (2010), An update on automatic 3D building reconstruction, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (65), 2010, pp. 570–580.
- HAALA, N. (2013), The Landscape of Dense Image Matching Algorithms, *Photogrammetric Week 2013*, Wichmann Verlag, Berlin/Offenbach, pp. 271-284.
- HIRSCHMÜLLER, H. (2008) Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30 (2), pp. 328 - 341.
- KADA, M. (2009), The 3D Berlin Project, *Photogrammetric Week 2009*, Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 331-340.
- LEMMENS, M. (2014), Digital Oblique Aerial Cameras (1). A Survey of Features and Systems. *GIM International*, 28(4), pp. 20-25
- NEBIKER, S. & EUGSTER, H. (2014), Management der Infrastruktur mit 3D-Bildern. *Aqua & Gas*, No2/2014, S. 44-48.
- ROTHERMEL, M., HAALA, N. & FRITSCH, D., (2014). Generating oriented pointsets from redundant depth maps using restricted quadtrees, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, Volume XL-3, 2014
- ROTHERMEL, M., WENZEL, K., FRITSCH, D., HAALA, N. (2012), SURE: Photogrammetric Surface Reconstruction from Imagery. *Proceedings LC3D Workshop*, Berlin ,December 2012
- TOLA, E., LEPETIT, V., FUA, P. (2010) DAISY: An Efficient Dense Descriptor Applied to Wide Baseline Stereo *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* Vol. 32, Nr. 5, pp. 815 - 830, May 2010