

# Segmentierung von Gebäudepunktvolken aus Laserscannerrohdaten unter Nutzung von 2D-GIS Daten

NADINE MEIERHOLD<sup>1</sup>

*Zusammenfassung: Der folgende Beitrag beschreibt ein Verfahren, das aus ungerasterten Flugzeuglaserscannerdaten 2,5D-Gebäudepunktvolken extrahiert. Grundlage ist ein in die Datenpunkte eingerechnetes TIN, auf das ein Region Growing Ansatz angewendet wird. Anschließend erfolgt eine Verfeinerung der erhaltenen Gebäude-segmente durch Nutzung von Grundrissinformationen mit dem Ziel, komplexe Gebäude in Gebäudeprimitive zu zerlegen. Die Verwendung von klassifizierten Laserscannerdaten ermöglicht eine Datenreduktion und damit die Prozessierung größerer Gebiete. Die Untersuchung der Segmentierungsergebnisse zeigt, dass Erfolgsraten von über 90% detektierter Gebäude erreicht werden.*

## 1 Einleitung

Flugzeuglaserscannerdaten werden bereits seit einiger Zeit operationell für die Generierung von hochauflösenden und genauen digitalen Geländemodellen eingesetzt. Neben einer Vielzahl anderer Anwendungsgebiete liegt auch viel Potenzial in der automatischen Generierung von 3D-Gebäudemodellen (MAAS, 2005). Ein erster Schritt dazu ist die Segmentierung der Flugzeuglaserscannerdaten mit dem Ziel, Punktwolken zu extrahieren, die Gebäude repräsentieren.

In der Literatur sind verschiedene Ansätze zur Gebäudedetektion zu finden, von denen viele von der Modellvorstellung ausgehen, dass Dächer ebene Flächen sind. HOFMANN ET AL. (2003) versuchen z.B. durch Clusteranalyse ebene Dachflächen in einer in die Laserscannerpunkte gerechneten TIN-Struktur zu detektieren, während bei AXELSSON (1999) und SITHOLE & VOSSELMAN (2003) die Segmentierung innerhalb von Profil- bzw. Scanlinien durch Untersuchung von Höhenveränderungen stattfindet.

Um bei der automatischen Interpretation der Höhendaten optimale Ergebnisse zu erzielen, ist das Einbeziehen von zusätzlichen Datenquellen kaum umgänglich (s. auch HAALA & BRENNER, 1997). Eine Möglichkeit ist die Nutzung von Grundrissen, um diese direkt mit den Höhendaten zu verschneiden (CHILTON ET AL., 1999) oder um Informationen über die Gebäudestruktur aus den Grundrissen zu erhalten (HAALA & BRENNER, 1997 und VOSSELMAN & DIJKMAN, 2001). HAALA ET AL. (1998) versuchen, die rein geometrische Information der Laserscannerdaten durch multispektrale Informationen zu ergänzen. Aufgrund der unterschiedlichen Reflektionseigenschaften ermöglicht dies eine bessere Differenzierung von Vegetation und Gebäuden.

In diesem Beitrag wird eine Segmentierungsmethode vorgestellt, die entwickelt wurde, um für die gesamte Schweiz möglichst viele Gebäudepunktvolken automatisch zu extrahieren. Neben einer hohen Erfolgsrate resultiert daraus eine weitere Herausforderung an den Algorithmus: Die Verarbeitung einer großen Datenmenge innerhalb einer akzeptablen Zeit. Aus diesem Grund nutzt das Verfahren Zusatzinformationen in Form von vorklassifizierten Laserscannerdaten und bezieht 2D-GIS Daten in Form von Grundrissen mit ein. Die nächsten Abschnitte gehen näher auf den Algorithmus ein und zeigen Segmentierungsergebnisse für ausgewählte Testgebiete.

---

<sup>1</sup> Dipl.-Ing. Nadine Meierhold, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden, e-mail: [Nadine.Meierhold@mailbox.tu-dresden.de](mailto:Nadine.Meierhold@mailbox.tu-dresden.de)

## 2 Daten

Die Befliegung der Schweiz wurde in mehreren Etappen und von verschiedenen Firmen durchgeführt. Der Bereich, aus dem das Testdatengebiet stammt, wurde mit dem Laserscannersystem ALTIMS 2536 der Firma TerraPoint erfasst. Mit einer Scanrate von 43 Hz, einer Messrate von 20 kHz, einem Scanwinkel von  $\pm 18^\circ$ , einer Flughöhe von 915 m und mehreren Flugstreifen mit 40-50% Überlappung wurde ein mittlerer Punktabstand von 1,2 m erreicht.

Neben der Georeferenzierung führte der Datenlieferant auch eine weitgehend automatisierte thematische Klassifizierung der Daten in die Klassen *Boden*, *Vegetation* und *Kunstbauten* durch (LUETHY & STENGELE, 2005). Dabei wird jedem Datenpunkt ein Attribut zugewiesen. Die Bodenpunkte ergaben sich aus einem Filterprozess zur DTM-Generierung. Für die Differenzierung der verbleibenden Punkte in *Vegetation* und *Kunstbauten* wurden sowohl Grundrisse als auch Orthophotos verwendet. Trotz der manuellen Nachbearbeitung und Qualitätskontrolle konnten nicht alle Fehlklassifizierungen beseitigt werden. Die Klassifizierungsattribute sind für etwa 95% der Schweiz verfügbar.

## 3 Methode zur Segmentierung von Gebäudepunktwolken

Im Rahmen einer Voruntersuchung zeigte sich, dass mit den Klassifizierungsattributen trotz einiger Fehlklassifizierungen zuverlässigere Segmentierungsergebnisse zu erwarten sind als durch alleinige Nutzung der Grundrisse. Außerdem stehen die Daten der amtlichen Vermessung (AV), entgegen den Attributen, nur für etwa 42% der Schweiz in digitaler Form zur Verfügung (AMTLICHE VERMESSUNG, 2005). Aus diesen Gründen ist der erste Hauptschritt der entwickelten Segmentierungsmethode die Segmentierung der Laserscannerdaten mit Hilfe der Klassifizierungsattribute (Abschnitt 3.1). Die dabei extrahierten Gebäudepunktwolken werden anschließend mit Hilfe der Grundrisse in einzelne Gebäudeprimitive zerlegt (Abschnitt 3.2).

### 3.1 Segmentierung mit Klassifizierungsattributen

Die Segmentierung mit Hilfe der Klassifizierungsattribute, die die eigentliche Extraktion der Gebäudepunktwolken darstellt, besteht aus der Segmentierung der Kunstbautenpunkte (Abschnitt 3.1.1) und den zwei Nachbearbeitungsschritten

- Ausschluss von Segmenten
- Erweiterung von Segmenten,

die auf Fehler der Klassifizierung eingehen (Abschnitt 3.1.2).

Zunächst wird jedoch eine Datenreduktion vorgenommen, um die Laufzeit des Algorithmus zu optimieren. Da weder die Segmentierung noch die anschließende Gebäudemodellierung die Bodeninformation benötigen, werden die Bodenpunkte von vornherein von der Prozessierung ausgeschlossen. Weiterhin erfolgt eine Trennung von Punkten, die als Kunstbauten und als *Vegetation* klassifiziert wurden, da die *Vegetationspunkte* nur für die Nachbearbeitung der in den Kunstbautenpunkten gefundenen Gebäude benötigt werden.

#### 3.1.1 Segmentierung der Kunstbautenpunkte

Ziel dieses Schrittes ist die Trennung der einzelnen in den Laserscannerdaten vorhandenen Gebäudeobjekte voneinander. In diesem Moment befinden sich ausschließlich die Kunstbau-

tenpunkte im Arbeitsspeicher, in die mit Hilfe einer Delaunay Triangulation ein TIN eingerechnet wird. Die anschließende Segmentierung basiert auf einer Analyse der Größe der einzelnen Dreiecksmaschen.

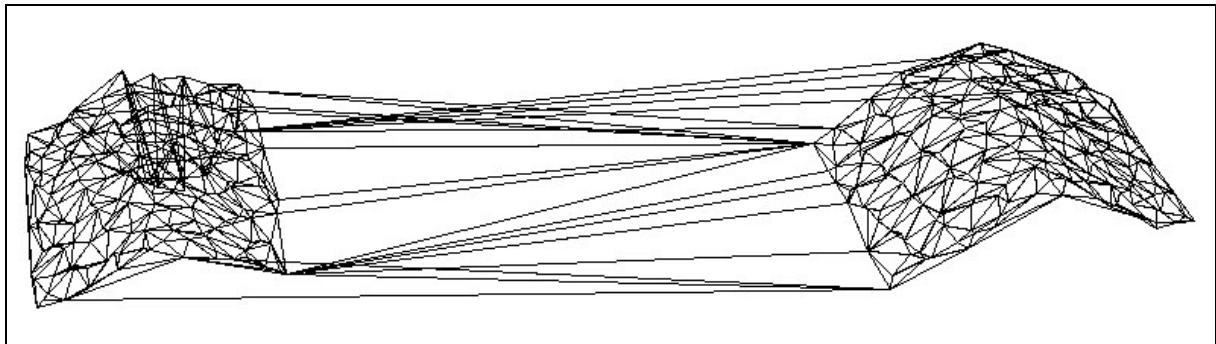


Abb. 1: TIN durch die als Kunstbauten klassifizierten Punkte

Wie in Abb. 1 zu sehen ist, sind unterschiedliche Gebäude durch lange Dreiecke miteinander verbunden, während die einzelnen Dachflächen aus vielen kleinen Dreiecken bestehen. Die Trennung der benachbarten Gebäudeobjekte wird deshalb durch einen Region Growing Ansatz erreicht, bei dem kurze benachbarte Dreiecke zu Segmenten (Dachflächen) gruppiert werden. Für die Bestimmung der Länge eines Dreiecks ist die längste räumliche Distanz zwischen zwei Punkten des Dreiecks maßgebend. Überschreitet die Distanz das 2,5-fache des mittleren Punktabstandes (3 Meter), wird das Dreieck als lang angesehen.

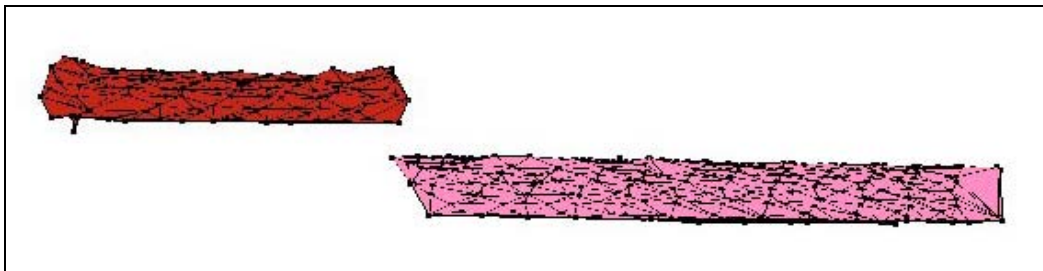


Abb. 2: Erfolgreich getrennte Flachdächer mit Höhenversatz (Seitenansicht leicht gekippt)

Der Vorteil dieser Methode ist, dass auch aneinander gebaute Gebäude getrennt werden können, deren Dächer einen Höhenversatz aufweisen, der mindestens dem Schwellwert für lange Dreiecke entspricht (Abb. 2). Solche Gebäude gehören zu einem Gebäudekomplex. Für die Weiterverarbeitung der extrahierten Gebäudepunktewolken ist es nützlich zu wissen, welche Gebäude benachbart sind, um z.B. Gebäudekomplexe später rekonstruieren zu können. Aus diesem Grund wird zusätzlich bei langen Dreiecken geprüft, wie groß die horizontale Distanz des höchsten und niedrigsten Dreieckspunktes ist. Unterschreitet diese Distanz einen festgelegten Schwellwert, d.h. die Gebäude grenzen aneinander, gelten die Segmente, in denen die beiden Dreieckspunkte liegen, als benachbart.

### 3.1.2 Nachbearbeitung der Segmente

Fehler in der Klassifizierung machen eine Nachbearbeitung der erhaltenen Segmente erforderlich. Zum einen enthält die Klasse *Kunstbauten* nicht nur Gebäude, sondern z.B. auch Mauern, Verkehrsmittel oder Vegetation. Solche Objekte bewirken, dass viele kleine Segmente separiert werden, die keine Gebäude repräsentieren. Der erste Nachbearbeitungsschritt soll verhindern, dass diese Objekte als Gebäude extrahiert werden (Fehler 2. Art). Hierzu wird die Segmentgröße untersucht. Ist das Segment kleiner als eine festgelegte Mindestgröße für Gebäude, wird es verworfen und nicht weiter betrachtet. Die Bestimmung der Segment-

größe erfolgt über ein TIN, das in die Segmentpunkte gerechnet wird. Aus der Summe der horizontalen Dreiecksflächen ergibt sich die Grundfläche bzw. die Größe des Segmentes.

Der zweite Nachbearbeitungsschritt geht auf einen weiteren Mangel der Klassifizierung ein. Da die bei der Punktklassifizierung verwendeten Grundrisse keine Dachüberstände enthalten, wurden diese als Vegetation klassifiziert. Eine Erweiterung hat nun das Ziel, die verbleibenden Gebäudesegmente um vorhandene Dachüberstände zu vergrößern und somit die vollständige Dachstruktur zu erfassen. Dazu werden zunächst alle Vegetationspunkte gesucht, die sich in einem definierten Puffer um das Segment befinden. Diese werden dann zusammen mit den Segmentpunkten zu einem TIN vermascht, auf das noch einmal der Region Growing Algorithmus (Abschnitt 3.1.1) angewendet wird. Das Ergebnis ist das erweiterte Segment (Abb. 3).

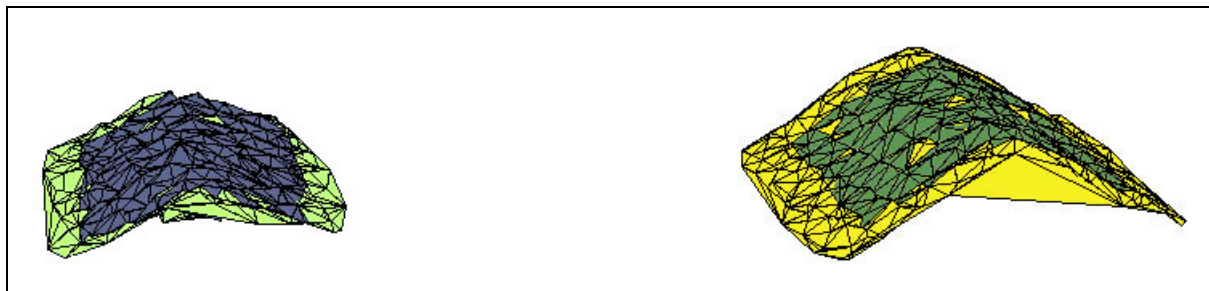


Abb. 3: Überlagerung von ursprünglichen und erweiterten Segmenten von Abb. 1

## 3.2 Subsegmentierung mit Grundrissen

Trotz der Segmentierung über lange Dreiecke kann bei Gebäudekomplexen in den meisten Fällen keine vollständige Trennung der einzelnen Gebäudeprimitive erreicht werden. Ziel ist es jedoch aneinander grenzende Bebauung weitestgehend zu teilen, da sich die einzelnen Gebäude in der Regel besser modellieren lassen als der zusammenhängende Gebäudekomplex und somit bessere Voraussetzungen für die Gebäudemodellierung geschaffen werden. Eine Verringerung des Parameters für die zulässige Länge der Dreiecke könnte zwar in manchen Fällen eine Lösung sein, führt jedoch zu einer stärkeren Zersplitterung der Segmente (Übersegmentierung). Eine andere Möglichkeit ist die Nutzung von Grundrissen für eine Subsegmentierung, wie es in Abschnitt 3.2.2 beschrieben wird.

Das Einbeziehen der Grundrissinformation hat noch einen weiteren Vorteil: Da eine Zuordnung der Grundrisse zu den Gebäudepunktvolken erfolgt (Abschnitt 3.2.1), können bei der Modellierung zusätzliche Informationen aus den Grundrissen gezogen werden (z.B. zur Hauptrichtung eines Gebäudes).

### 3.2.1 Zuordnung der Grundrisse zu den Segmenten

Voraussetzung für die Subsegmentierung der Gebäudepunktvolken ist die Information, welche Grundrisse zu welcher Gebäudepunktwolke gehören. Für diese Zuordnung wird um die Segmentpunktwolke eine Boundingbox gelegt, die sich aus den minimalen und maximalen X- und Y-Koordinaten der Punktwolke ergibt. Alle Grundrisse, deren Schwerpunkte in dieser Boundingbox liegen, werden dieser Gebäudepunktwolke zugeordnet (Abb. 4).

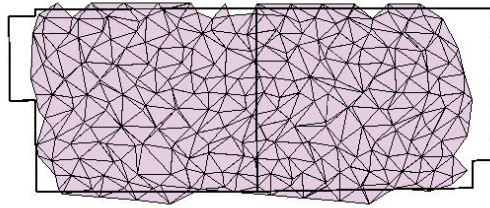


Abb. 4: Gebäudesegment mit gefundenen Grundrissen

### 3.2.2 Verfeinerte Segmentierung mit Grundrissen

Die Teilung eines Gebäudesegmentes mit Hilfe der gefundenen Grundrisse läuft in folgenden Schritten ab:

- Verschneidung der Segmentpunkte mit den Grundrissen
- Ausschluss von zu kleinen Subsegmenten
- Suche nach Gebäudeprimitiven im Segment, für die keine Grundrisse existieren
- Verbleibende Segmentpunkte den dichtesten Grundrissen zuweisen

Nachfolgend werden die einzelnen Schritte genauer erläutert.

#### *Verschneidung von Segmentpunkten und Grundrissen*

Die Verschneidung hat das Ziel, die Segmentpunkte zu finden, die sich innerhalb der Grundrisse befinden. Die Überprüfung, ob ein Punkt innerhalb oder außerhalb eines Grundrisspolygons liegt, erfolgt durch Ermittlung der *Kreuzungszahl*. Die Kreuzungszahl gibt an, wie viele Polygonkanten ein von einem Punkt in eine beliebige Richtung ausgehender Strahl kreuzt. Für eine effiziente Berechnung wird ein waagerechter Strahl nach rechts betrachtet. Ist die Kreuzungszahl null oder gerade, liegt der Punkt außerhalb des Grundrisses. Kreuzt der Strahl eine ungerade Anzahl von Polygonkanten, befindet sich der Punkt innerhalb es Polygons.

Auf diese Weise wird für jeden Punkt ermittelt, ob er in einem Grundriss liegt und in welchem. Die für jeden Grundriss erhaltenen Punktwolken stellen dann neue separate Segmente (Subsegmente) dar.

#### *Ausschluss von kleinen Subsegmenten*

Da im Datensatz der amtlichen Vermessung sehr viele kleine Polygone enthalten sind, die eine Übersegmentierung zur Folge hätten, werden die Subsegmente auf ihre Größe hin untersucht. Nach der Triangulation der einzelnen Punktwolken erfolgt die Berechnung der Grundfläche der Subsegmente aus den horizontalen Dreiecksflächen (s. Abschnitt 3.1.2). Ist ein Subsegment kleiner als eine vorgegebene Mindestgröße für Gebäude, wird der zugehörige Grundriss verworfen und die entsprechenden Segmentpunkte weiteren Verarbeitungsschritten unterzogen.

#### *Zuweisung der verbleibenden Segmentpunkte*

Nach der Verschneidung sind noch nicht alle Segmentpunkte Grundrissen zugeordnet. Übrig geblieben sind z.B. Dachüberstände, die Punktwolken der verworfenen Grundrisse und Gebäudeprimitive ohne Grundriss. Diese Punkte werden nun gesondert behandelt.



Die Grundidee besteht darin, die verbleibenden Segmentpunkte den dichtesten Grundrissen zuzuweisen. Deshalb ist der erste Schritt die Ermittlung der Punktabstände zu allen Grundrissen. Der Abstand eines Punktes zu einem Grundrisspolygon wird durch den rechtwinkligen ebenen Abstand des Punktes zu einer Polygonkante definiert. Die Bestimmung der für die Abstandsberechnung relevanten Polygonkante erfolgt über den zum Segmentpunkt nächstgelegenen Polygonpunkt. Dieser Polygonpunkt ist Bestandteil zweier Polygonkanten, der Kante zum vorhergehenden und der zum nachfolgenden Polygonpunkt (Polygonrichtung im Uhrzeigersinn).

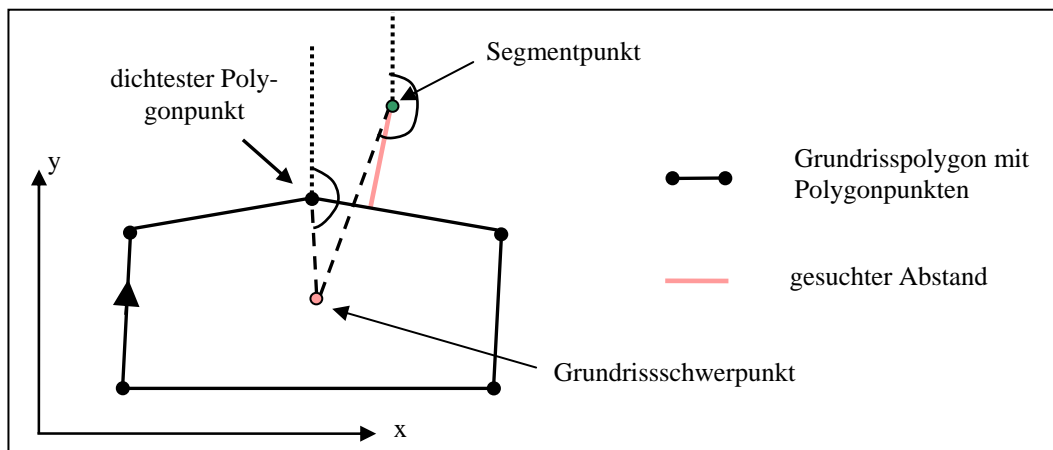


Abb. 5: Ermittlung der für die Abstandsberechnung relevanten Polygonkante

Die Entscheidung, zu welcher der beiden Polygonkanten der Abstand berechnet wird, hängt von der Lage des betrachteten Segmentpunktes zum dichtesten Polygonpunkt ab (Abb. 5). Liegt der Segmentpunkt links vom Polygonpunkt, wird die Polygonkante zum vorhergehenden Polygonpunkt für die Abstandsberechnung verwendet, andernfalls die zum Nachfolger. Die Lage der Punkte wird durch ihre Richtungswinkel zum Schwerpunkt des Grundrisses ausgedrückt. Im ersten Fall (Segmentpunkt liegt links) ist der Richtungswinkel am Segmentpunkt kleiner als am Polygonpunkt, im zweiten Fall ist es umgekehrt.

Nun kann der rechtwinklige Abstand des Punktes zur ermittelten Polygonkante berechnet werden. Bevor jedoch die Zuordnung aller Punkte zum dichtesten Grundriss erfolgt, wird geprüft, ob das Gebäudesegment vollständig durch Grundrisse repräsentiert wird bzw. ob Gebäude existieren, für die aufgrund mangelnder Aktualität und Vollständigkeit der AV-Daten kein Grundriss existiert (Abb. 6 links). Um eine vollständige Subsegmentierung zu erreichen, sollen diese Gebäude trotzdem erkannt und als separate Segmente ausgegeben werden.

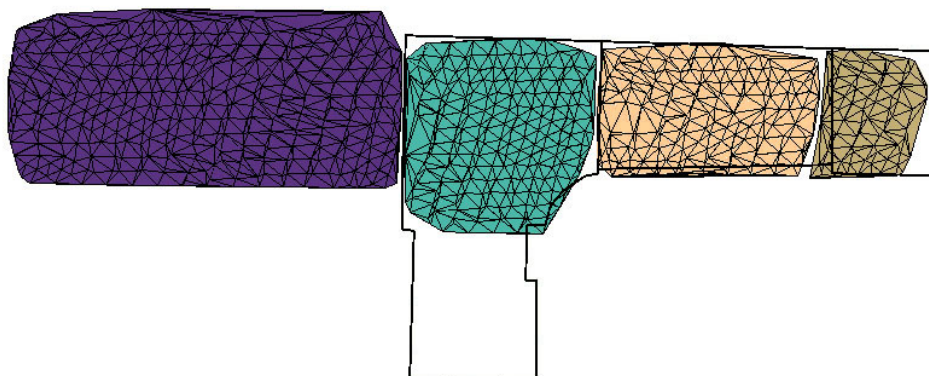


Abb. 6: Erfolgreich zerlegter Gebäudekomplex mit zugehörigen Grundrissen

Liegt dieser Fall vor, so gibt es eine unbestimmte Menge von Punkten, die bezüglich eines ausgewählten Grundrisses in der gleichen Richtung liegen. Diese Punkte unterscheiden sich von einem Dachüberstand durch einen größeren Abstand von dem Grundriss. Daraus ergibt sich der Ansatz für das Erkennen solcher Gebäude: Werden bezüglich eines Referenzpolygons in einer Richtung ausreichend viele Punkte mit einem großen Abstand von diesem Polygon gefunden, werden *alle* Punkte in dieser Richtung zu einem neuen Segment zusammengefasst.

Werden keine neuen Segmente mehr gefunden, werden die restlichen Punkte dem dichtesten Grundriss zugewiesen. Abb. 6 zeigt einen erfolgreich subsegmentierten Gebäudekomplex.

## 4 Ergebnisse

Um quantitative Aussagen zu den Ergebnissen der Segmentierung treffen zu können, wurde der Algorithmus an einem urbanen Bereich mit 347 Gebäuden (Einzelhäuser und Gebäudekomplexe) und an einem ländlichen Bereich mit 317 Gebäuden (überwiegend Einzelhäuser, geneigtes Gelände) getestet und visuell validiert. Für die Auswertung gibt es zwei Arten der Ergebnisausgabe: Einerseits besteht die Möglichkeit, die Schwerpunkte der extrahierten Gebäudepunktewolken in ArcGIS einzuladen und mit anderen Daten zu überlagern (z.B. mit Grundrissen, Orthophotos oder/und Laserscannerdaten), um einen Überblick zu den erzielten Ergebnissen zu bekommen. Eine genaue Ergebnisanalyse ist aber nur durch Betrachtung der 3D-Punktewolken der Gebäudesegmente in einem VRML-Viewer möglich.

Extrahierte Gebäudepunktewolken wurden als korrekt bewertet, wenn sie ausschließlich die Dachpunkte des Gebäudes enthalten und keine Nachbearbeitung erforderlich ist (Abb. 7 links). Die Segmentierung war nicht fehlerfrei, wenn sich in der Punktewolke auch Punkte befanden, die auf anderen Objekten reflektiert wurden (z.B. Vegetation, Dachpunkte benachbarter Gebäude). Die übrigen Gebäude waren überhaupt nicht detektierbar. Die nachfolgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Segmentierung zusammen.

Tab. 1: Erfolgsrate der Gebäudedetektion

	Urbanes Testgebiet	Ländliches Testgebiet
Korrekt segmentiert	65 %	55 %
Nicht fehlerfrei segmentiert	30 %	38 %
Nicht detektiert	5 %	7 %

Man sieht, dass über 90% der Gebäude detektiert werden konnten. Ein Vergleich des städtischen und ländlichen Bereiches zeigt, dass die Gebäudedetektion in Stadtgebieten geringfügig besser ist. Unterschiede bestehen in der Anzahl der fehlerbehafteten Gebäudesegmente und der Anzahl nicht detektierter Gebäude. Die häufigste Ursache für Störpunkte in den extrahierten Punktewolken ist niedrige Vegetation, die sich vor allem im ländlichen Bereich häufig dicht am Gebäude befindet oder sogar über das Dach ragt (Abb. 7 rechts).

Im städtischen Bereich war die Hauptursache für fehlerbehaftete Segmente eine unzureichende Subsegmentierung. Ein Problem ist hierbei das nicht perfekte Übereinstimmen der Grundrisse mit den Laserscannerdaten, was überwiegend auf Lagefehler der Laserscannerdaten zurückzuführen ist. Somit kann es passieren, dass Punkte des benachbarten Gebäudes mit in die Punktewolke gelangen. Der Grund für nicht detektierte Gebäude ist eine falsche Klassifizierung der Gebäudepunkte. Prinzipiell können mit dieser Methode nur Gebäude detektiert

werden, die als Kunstbauten klassifiziert sind. Das Verfahren ist demzufolge von der Güte der Klassifizierung abhängig, die in Stadtgebieten aufgrund des Fortführungsstandes und der Vollständigkeit der eingehenden AV-Daten besser ist als in Außenbereichen.

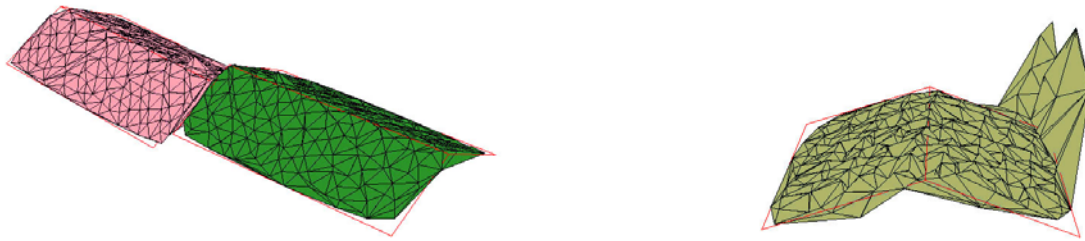


Abb. 7: Korrekt detektierte Gebäude (links) und ein mit Vegetation detektiertes Gebäude (rechts)

## 5 Zusammenfassung

Es wurde eine automatische Methode zur Detektion und Segmentierung von Gebäuden vorgestellt, die auf klassifizierten Laserscannerdaten basiert und zusätzlich Grundrisse nutzt. Das Verfahren ist in der Lage, Datenmengen von mindestens ca. 20 Mio. Punkten zu prozessieren und erzielt eine hohe Detektionsrate. Es ermöglicht eine feinere Segmentierung als dies ohne Zusatzinformationen möglich wäre.

Die Problematik der Trennung von Gebäuden und dichter Vegetation konnte trotz der Klassifizierung der Laserscannerdaten nicht gelöst werden. Grund ist das notwendige Einbeziehen der Vegetationspunkte zur Erfassung von Dachüberständen. Dieser Umstand erfordert robuste Modellierungsverfahren, die trotz Störpunkten in der Lage sind, die Struktur des Daches zu erkennen. Ein solches Verfahren ist z.B. die Linienmethode (SCHWALBE, 2004), mit der ca. 50% der in Tab. 1 aufgezeigten imperfekten Gebäudepunktwolken trotzdem korrekt modelliert werden konnten. Ein möglicher Ansatz um Vegetationspunkte (Ausreißer) vor der Modellierung zu entfernen, wäre die Anwendung einer kantenerhaltenden Filterung auf die extrahierten Gebäudepunktwolken.

## 6 Literatur

- AMTLICHE VERMESSUNG (2005): <http://www.cadastre.ch/de/av/stat.html>, Stand 09.06.2006
- AXELSSON, P. (1999): Processing of laser scanner data - algorithms and applications. - ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 54 1999: pp. 138-147
- CHILTON, T. D., JAAFAR, J. & PRIESTNALL, G. (1999): The use of laser scanner data for the extraction of building roof detail using standard elevation derived parameters. - Workshop on Mapping Surface Structure and Topography by Airborne and Spaceborne Lasers, La Jolla, Ca, November 9-11, 1999
- HAALA, N. & BRENNER, C. (1997): Generation of 3D city models from airborne laser scanning data. - IAPRS Volume XXXII, Part 3.4/W2, Stuttgart, 1997
- HAALA, N., BRENNER, C. & STÄTTER, C. (1998): An intergrated system for urban model generation. - Proceedings ISPRS Congress Comission II, WG 6, Cambridge, UK, Juli 13-17, 1998: pp. 96-103
- HOFMANN, A. D., MAAS, H.-G. & STREILEIN, A. (2003): Derivation of roof types by cluster analysis in parameter spaces of airborne laser scanner point clouds. - IAPRS International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol.34, Part 3/W13, pp. 112-117



- MAAS, H.-G. (2005): Akquisition von 3D-GIS Daten durch Flugzeuglaserscanning. - Kartographische Nachrichten, Vol.55, Heft 1: S. 3-11
- LUETHY, J., STENGELE, R. (2005): 3D mapping of Switzerland-challenges and experiences. - ISPRS Workshop "Laser scanning 2005", Enschede, September 12-14, 2005
- SCHWALBE, E. (2004): 3D building model generation from airborne laserscanner data by straight line detection in specific orthogonal projections. - IAPRS International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.35, Part B: pp. 249-254
- SITHOLE, G. & VOSSELMAN, G. (2003): Automatic structure detection in a point cloud of an urban landscape. - Proceedings of 2<sup>nd</sup> Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, Berlin, May 22-23, 2003: pp. 67-71
- VOSSELMAN, G. & DIJKMAN, S. (2001): 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans. - IAPRS International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.34, Part 3/W4: pp. 37-43