

# 3-D-Gebäudekonstruktion mittels Bildanalyse zur Nachführung von topographischen Karten

**Conference Paper**

**Author(s):**

Niederöst, Markus

**Publication date:**

2001

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004332635>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

# 3-D-Gebäuderekonstruktion mittels Bildanalyse zur Nachführung von topographischen Karten

MARKUS NIEDERÖST<sup>1</sup>

*Abstract: The paper presents approaches both for the detection as well as the coarse reconstruction of buildings from middle scale aerial images (scale approx. 1:15'800) with the use of only one single stereo pair and no additional data from laser or infrared imagery. In a first step the buildings are approximatively located. In order to exclude the disturbing vegetation, an unsupervised classification is applied to separate vegetation areas from man-made image parts. Height values caused by vegetation are removed from a normalized surface model (nDSM) in which the buildings are detected by search of connected groups of rasterpoints above ground. Edge detection and determination of correspondences allow to calculate 3-D edges. With unsupervised K-means classification the main building surfaces are determined and their spatial equation is calculated in a least squares adjustment using the reconstructed 3-D edges as well as elevation values from the digital surface model (DSM). Determination of four keypoints for each key surface and addition of walls leads to a coarse 3-D building model.*

## 1 Einleitung

Die Rekonstruktion von Gebäuden ist eines der aktuellen Themen, mit welchen sich die photogrammetrische Gemeinschaft beschäftigt. Solche Daten werden vermehrt von öffentlichen und privaten Organisationen in verschiedensten, oftmals GIS-basierten Applikationen oder zur Visualisierung verwendet. Die in diesem Paper beschriebene Arbeit ist Teil des Projekts ATOMI (Automated reconstruction of Topographic Objects from aerial images using vectorized Map Information), einem Zusammenarbeit zwischen dem Bundesamt für Landestopographie (L+T) in Bern und dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) an der ETH Zürich. Ziel des Projekts ATOMI sind die Nachführung und Korrektur eines digitalen Vektordatensatzes (genannt VECTOR25), welcher durch halbautomatische Digitalisierung der 25'000er Landeskarte generiert wurde. Die Nachzuführenden Objekte sind Gebäude und Strassen. Für die Gebäude soll ausserdem mindestens eine repräsentative Höhe ermittelt werden. Gebäudeumrisse kleiner als 2 m können vernachlässigt werden. Die Motivation ist die Generierung von aktuellen und genauen Gebäude- und Strassendaten für die Produktion eines 3-dimensionalen Landschaftsmodells der Schweiz, welches weitmöglichst der Realität entspricht und nicht generalisiert ist. Für einen detaillierteren Überblick über das Projekt siehe (Eidenbenz et al, 2000). Die Untersuchungen zum Teil über Strassen sind in (Zhang/Baltsavias, 2000) beschrieben. Ein anderer Ansatz zur Gebäudedetektion (u.a. unter ausschliesslicher Verwendung eines DOM) und einer groben, zuverlässigen Gebäuderekonstruktion (basierend auf Orthophoto und normalisiertem digitalem Oberflächenmodell) finden sich in (Niederöst, 2000). Eine Übersicht über verschiedenste Ansätze zur Gebäuderekonstruktion enthalten (Grün et al, 1995) und (Grün et al, 1997).

Dieses Paper zeigt den aktuellen Stand in der automatischen Gebäudedetektion und - leicht abweichend von den Hauptzielen des Projekts ATOMI - eine mögliche Vorgehensweise zur groben 3-D Rekonstruktion von Gebäuden und deren Grenzen. In diesen aktuellen Untersuchungen wird der genäherte Vektordatensatz nicht verwendet.

Die Hauptunterschiede zu den Arbeiten anderer Autoren (Henricsson, 1996), (Baillard et al,

---

<sup>1</sup> Dipl.-Ing. Markus Niederöst, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich, Tel.: +41 1 633 32 87, Fax: +41 1 633 11 01, e-mail: markus@geod.baug.ethz.ch

1999), (Weidner, 1997), (Maas, 1999), (Haala/Walter, 1999) liegen darin, dass nur 2-fach überlappende Farbbilder (kein Infrarot) mittleren Massstabs (Bodenauflösung 22 cm) verwendet werden. Das DOM wurde mit photogrammetrischen Methoden erzeugt (keine Laserdaten).

## 2 Detektion und Rekonstruktion von Gebäuden (Übersicht)

Die im Projekt ATOMI enthaltene Problemstellung für Gebäude kann in zwei Teil aufgespaltet werden. In einem ersten Schritt werden die Gebäude grob lokalisiert. Wenn ein Haus im Datensatz VECTOR25 enthalten ist, kann die ungefähre Lage daraus entnommen werden. Damit dem Datensatz auch neue Gebäude hinzugefügt werden können und damit das Fehlen von Häusern (abgerissen, abgebrannt etc.) berücksichtigt werden kann, wird eine Blob Detektion im nDOM (normalisiertes DOM) verwendet. Die Kombination mit unüberwachter Klassifizierung erlaubt die Eliminierung von Höhenwerten, welche durch Vegetation verursacht worden sind. Im zweiten Schritt werden die detektierten Gebäude rekonstruiert. Zuerst erfolgt eine Kanten-detektion in beiden Bildern und deren 3-D Rekonstruktion. Farbattribute und Klassifizierungsmethoden erlauben die Selektion von Kanten, welche zu einer bestimmten Dachfläche gehören. Mittels der 3-D Kanten und Höhenwerten aus dem DOM können die Ebenengleichungen der Dachflächen in einer Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet werden. Für jede Dachhauptfläche werden die 4 Punkte ermittelt, welche die Form am besten wiedergeben. Nach dem Hinzufügen von Wandflächen kann das 3-D Modell visualisiert werden. Der Gebäudeumriss und die repräsentative(n) Höhe(n) könnten nun bestimmt werden.

## 3 Verwendete Daten

Beim verwendeten Gebiet handelt es sich um das Dorf Hedingen südlich von Zürich. Für die Untersuchungen wurde ein Testgebiet von ungefähr  $220 \times 220 \text{ m}^2$  gewählt. Die Farbbilder eines Stereomodells (mittlere Flughöhe über Grund 4'800 m, Kammerkonstante  $\sim 300 \text{ mm}$ ) wurden mit einer Auflösung von  $14 \mu\text{m}$  gescannt. Bei einem Bildmassstab von 1:15'800 entspricht das einer Bodenauflösung von 0.22 m. Das digitale Höhenmodell wurde vom Bundesamt für Landestopographie (L+T) zur Verfügung gestellt. Dieses sogenannte DHM25 wurde mittels Interpolation aus den Höhenlinien der 25'000-er Landeskarte abgeleitet. Mit einer Rasterweite von 25 m ist es für die ganze Fläche der Schweiz erhältlich. Die Genauigkeit beträgt im Schweizerischen Mittelland ungefähr 1.5 m, während sie für die alpinen Gebieten mit 5 bis 8 m angegeben wird. Die digitale photogrammetrische Station Phodis der Firma Zeiss wurde für die Orientierung des Stereomodells und die DOM-Generierung verwendet. Ein Vergleich der Resultate aus  $14 \mu\text{m}$  bzw.  $28 \mu\text{m}$  Bildern zeigte keine signifikanten Unterschiede in der DHM-Qualität. Daher wurden für die DOM-Berechnung die  $28 \mu\text{m}$  Scans verwendet.

## 4 Gebäudedetektion

Die grobe Detektion der Gebäude wurde durch Ermitteln von Regionen 'über Grund' (Blob Detektion) unter Verwendung eines Schwellwerts gemacht. Dabei wurde das normalisierte digitale Oberflächenmodell ( $n\text{DOM} = \text{DOM} - \text{DHM25}$ ) verwendet. Diese erlaubt die Unterscheidung von nDOM-Elementen 'über Grund' vom Gelände. Einige Erhöhungen sind allerdings nur teilweise oder überhaupt nicht von Gebäuden verursacht. Bäume zum Beispiel sind von den Gebäuden nicht zu trennen, wenn man dazu ausschliesslich die Information aus dem Oberflächenmodell verwendet. Darum wird unüberwachte Klassifizierung benutzt, um die durch Vegetation verursachten Höhenwerte zu eliminieren.

### 4.1 Detektion der Vegetation

Als Methode für die Trennung der künstlichen Objekte von der Vegetation wurde unüberwachte K-means Klassifizierung mit 2 Inputkanälen und 2 zu separierenden Klassen gewählt. Das

linke Luftbild wurde benutzt, und die drei Farbkanäle R (rot), G (grün) und B (blau) wurden separiert. Aus diesen wurden anschliessend die beiden Inputkanäle für die Klassifizierung berechnet: Der  $a^*$ -Kanal (rot-grün-Anteil) vom CIELAB Farbraum (PRATT, 1991) und die arithmetische Kombination  $(G-R) / (G+R)$  aus dem RGB Farbraum, invertiert und skaliert auf  $[0, 255]$ . Das Resultat der Klassifizierung zeigt eine genügende Trennung der künstlichen Objekte von der Vegetation.



Abb. 1: Testgebiet (links) und Klassifizierungsergebnis (weiss = Vegetation)

## 4.2 Elimination der Vegetation aus dem nDOM

Das Resultat der Klassifizierung wurde benutzt, um das nDOM abzumaskieren. Rückprojektion jedes Rasterpunktes im DOM in das Bild des Klassifizierungsergebnisses und Analyse einer  $11 \times 11$  Pixel grossen Region erlaubt die Bestimmung, ob ein Höhenwert durch Vegetation verursacht wurde. Wenn mehr Pixel in der Region als Vegetation klassifiziert worden sind, wird der Höhenwert eliminiert und in den weiteren Schritten als Bodenpunkt betrachtet (Abb. 2).

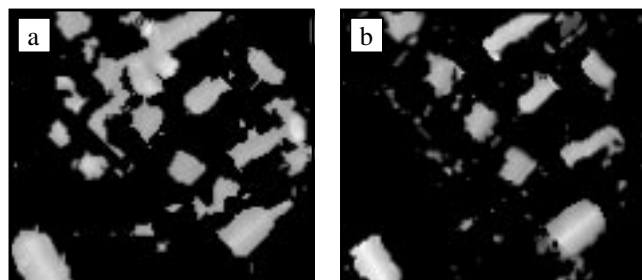


Abb. 2: Normalisiertes DOM  
a) vor der Elimination der Vegetation b) danach

## 4.3 Blob-Detektion

Die Regions of interest (ROI) wurden durch Suche von zusammenhängenden Höhenwerten detektiert, welche alle mehr als 2 m über Grund sein müssen und von niedrigeren Werten umgeben sind. Ein Schwellwert für minimale Grösse erlaubt die Herausfilterung von zu kleinen Elementen. Zu jeder rechteckigen ROI wurde auf jeder Seite ein Streifen von 5 m Breite addiert. Resultat der Blob Detektion ist eine Liste mit Regionen, gegeben mit den Koordinaten X, Z und Y des nordwestlichen Eckpunktes und der Breite und Höhe der Region (alle Werte in Objektkoordinaten). Zusätzlich zur rechteckigen Region wurden die korrekte Form des Blobs und die Höhenwerte (projiziert in den linken Bildraum) als Raster gespeichert. Das erlaubt in späteren Schritten, dass wirklich nur das zu bearbeitende Gebäude berücksichtigt wird. Teile von anderen Gebäuden oder kleine, hohe Objekte, welche durch Fehler verursacht worden sind, können somit ausgeschlossen werden.

## 5 Rekonstruktion der Gebäude

Der vorgeschlagene Ansatz für Gebäuderekonstruktion basiert auf der Idee einer Kombination einzelner rekonstruierter Dachteile. Nach Bestimmung der einzelnen Flächen mit unüberwachter Klassifizierung wird deren 3-dimensionale Ebenengleichung bestimmt, wobei sowohl die 3-D Kanten als auch die Punkte des Oberflächenmodells als Stützpunkte benutzt werden. Die Form jeder Dachfläche wird anschliessend auf ein 4-eck reduziert. Nach Hinzufügen der Wände durch Projektion auf das DHM25 kann das Gebäudemodell visualisiert werden.

### 5.1 Bestimmung charakteristischer Dachflächen (2-D)

Um die Dachflächen zu separieren, wurde unüberwachte K-means Klassifizierung mit 2 Inputkanälen angewendet. Die beiden gewählten Kanäle sind der Rotkanal R und der Helligkeitskanal  $L^*$  vom CIELAB Farbraum. Die Wahl der Kanäle R und  $L^*$  wurde empirisch vorgenommen. Es ist nicht notwendig, dass die separierten Klassen eine bestimmte Bedeutung haben (z.B. Vegetation, Gebäude etc.), weil das Ziel dieser Klassifizierung das Trennen verschiedener Dachflächen ist, und nicht das Bestimmen von unterschiedlichen Klassen.

Pro Kanal wird jeweils der Inhalt von beiden Bildern verwendet, um den Kanal für die Klassifizierung zu berechnen. Die Werte für einen bestimmten Kanal werden - für jedes Pixel im linken Bildraum - als arithmetisches Mittel zwischen 2 Werten berechnet. Der eine Wert ist der Grauwert des aktuellen Pixels im linken Bild. Der andere Wert wird gefunden durch Projektion des aktuellen Pixels im linken Bild auf das DOM und Rückprojektion in das rechte Bild und Auslesen des Grauwerts an der gefundenen Position. Der Einfluss von Ungenauigkeiten des DOMs kann vernachlässigt werden unter der Voraussetzung, dass - für radiometrisch regelmässige Flächen - benachbarte Pixel ähnliche Werte annehmen.

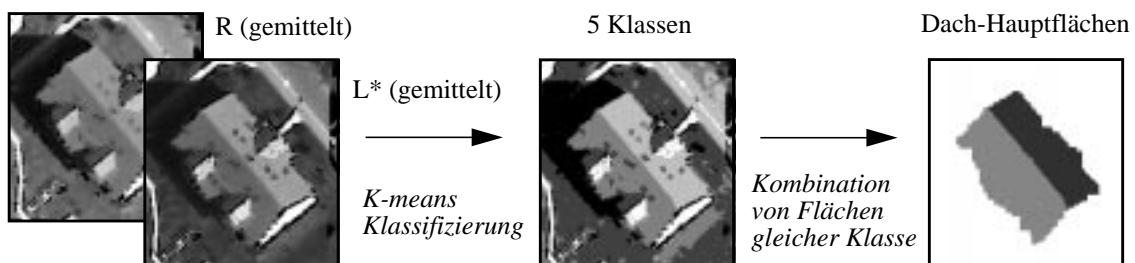


Abb. 3: Bestimmung der Dach-Hauptflächen

K-means Klassifizierung mit den beiden berechneten Inputkanälen wird verwendet, um 5 Klassen zu separieren. Die Anzahl von 5 Klassen wurde empirisch ermittelt und stellte sich in manchen Fällen als gültig heraus. Manchmal ist allerdings keine genügende Trennung möglich, was vor allem auf sehr geringen Kontrast zwischen 2 benachbarten Dachflächen zurückzuführen ist. In anderen Fällen können radiometrische Unregelmässigkeiten auf einer einzelnen Fläche zu Übersegmentierung führen.

Das Resultat der Klassifizierung wird nun verwendet, um zusammenhängende Gruppen von Pixeln der gleichen Klasse zu finden. Nach dem Finden eines ersten Pixels einer Region wird die Suche nach weiteren benachbarten Pixeln der ständig wachsenden Region fortgesetzt, bis kein angrenzendes Pixel der gleichen Klasse mehr gefunden werden kann.

Da die 3-D Rekonstruktion von allen Dachflächen aus einem einzigen Stereomodell mit Bildmassstab 1:15'800 und mit einem optischen DOM nicht sehr wahrscheinlich ist, werden ermittelten Flächen auf diejenigen Dachhauptflächen reduziert, welche die grobe charakteristische Form des Daches wiedergeben. Kleine Sekundärflächen werden durch Prüfen von Nachbar-

schaft den grösseren Hauptflächen zugeordnet. Eine Nachbearbeitung durch morphologische Filterung (Schliessen = Dilatationen und Erosionen) erlaubt das Schliessen kleiner Lücken.

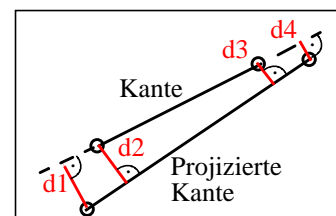
## 5.2 Dachkanten

Die Bestimmung der 3-D Kanten wurde verwendet unter der Annahme, dass eine genügende Anzahl korrekter Kanten erlaubt, die grobe Dachform des Gebäudes - zumindest visuell - erkennen zu können.

Der Canny Operator wurde zur Kantendetektion verwendet und verschiedenste Parameter wie Start- und Endpunkt, Länge, Parameter der Gleichung der 'best fitting' Gerade etc. gespeichert (Henricsson, 1996). Nur gerade Kanten mit einer Länge > 7 Pixel (1.5 m im Objektraum) wurden akzeptiert.

Die Suche nach korrespondierenden Kantenpaaren in den beiden Luftbildern wurde mit Hilfe des DOM gemacht. Jede Kante im einen Bild wurde in den Objektraum auf das DOM und anschliessend zurück in den anderen Bildraum projiziert. Die korrespondierende Kante wurde nach folgenden Kriterien ermittelt:

- Die senkrechte Distanz eines Start- oder Endpunkts zu einer möglichen korrespondierenden Kante (aus dem anderen Bild) muss klein sein.
- Die radiometrischen Werte eines Bandes entlang der linken bzw. rechten Seite der Kante müssen ähnlich sein; dabei wurden die Kanäle \*L (Helligkeit), \*a (rot-grün) und \*b (gelb-blau) des CIELAB Farbraums verwendet.



Die Berechnung einer 3-dimensionalen Ebenengleichung mit Hilfe des Anfangs- und Endpunktes einer Kante und dem Projektionszentrum und die Projektion der korrespondierenden Kante im anderen Bild auf diese Ebene ergeben dann die rekonstruierte 3-D Kante.

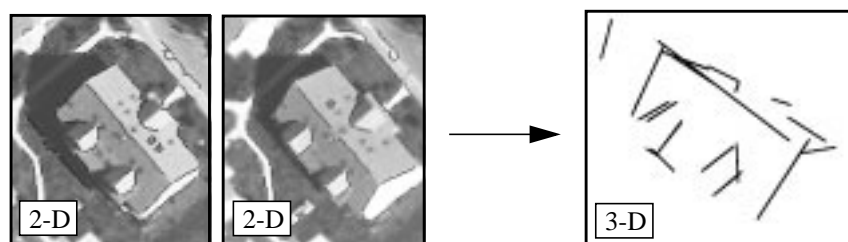


Abb. 4: Im linken und rechten Bild detektierte Kanten und die daraus rekonstruierten 3-D Kanten

Die Rekonstruktion von Gebäuden unter ausschliesslicher Verwendung von 3-D Kanten war - in wenigen Fällen - erfolgreich. Dies war der Fall, wenn auch für das menschliche Auge die charakteristische Dachform erkennbar war. Aber es stellte sich heraus, dass eine unvollständige Menge an Kanten für eine Rekonstruktion meistens nicht ausreichte.

## 5.3 Berechnung von 3-D Dachflächen

Die Flächengleichungen der Dachhauptflächen werden in einer Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Eine 3-D Fläche kann formuliert werden als

$$Z = a \cdot X + b \cdot Y + c \quad (1)$$

Jeder Start- und Endpunkt einer 3-D Kante, welche - im Bildraum - an die aktuell zu berechnende Fläche angrenzt, ergibt eine Beobachtungsgleichung. Testresultate habe gezeigt, dass für viele Flächen nicht eine genügende Anzahl an 3-D Kanten vorliegt. Darum wird ein Raster von DOM Punkten (Rasterweite 0.66 m) hinzugefügt, welche - in den Bildraum projiziert - auf der zu bestimmenden Fläche liegen.

Obwohl es sich beim funktionalen Modell um ein lineares Gleichungssystem handelt, werden 5 Iterationen durchgeführt. Nach jeder Iteration werden die Gewichte der Beobachtungen gemäss ihrer Residuen angepasst. Ein hohes Residuum ergibt in der nächsten Iteration ein kleineres Gewicht für die Beobachtung. Dies ermöglicht die Eliminierung von Ausreissern.

## 5.4 Rekonstruktion des Gebäudes

Mit den vorliegenden getrennten Dachhauptflächen und deren Flächengleichung ist es nun möglich, ein grobes 3-D Gebäudemodell zu erstellen. Die Regionen, welche mit K-means Klassifizierung bestimmt worden sind, erlauben allerdings keine klare Bestimmung aller für die korrekte Form verantwortlichen Punkte. Darum wurde für jede Dachfläche angenommen, dass sie durch 4 Punkte repräsentiert werden kann, welche durch Schnitt von geraden Tangenten gefunden werden. Die Reduktion auf 4 Punkte ist nicht allgemein gültig, wurde aber in diesem Forschungsstadium gewählt. Die Berechnung der 3-D Koordinaten der 4 Punkte erfolgt dann durch Projektion auf die in 5.3 ermittelte Fläche. Punkte, welche einer Schnittgerade zwischen 2 Dachhauptflächen sehr nahe sind, werden orthogonal auf diese verschoben, um Unregelmäßigkeiten und kleine Lücken zu vermeiden. Wenn die 4 Eckpunkte für jede einzelne Dachfläche vorliegen, ist es möglich, das Gebäudemodell zu generieren. Die Wände werden durch Projektion der Eckpunkte auf das darunterliegende DHM25 und Bildung von senkrechten 4-Ecken gebildet. Das Resultat ist ein vereinfachtes Modell des Gebäudes mit dem korrekten Dachtyp.

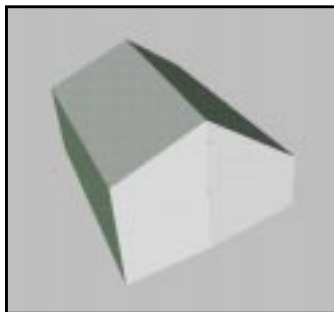


Abb. 5: Einzelhaus

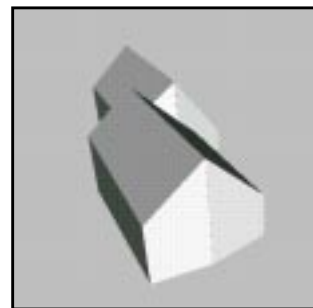


Abb. 6: Zusammengebaute Häuser

## 6 Bewertung der Resultate

Für die Bewertung der entwickelten Verfahren ist eine Analyse der Resultate unerlässlich.

Die approximative Detektion (Kapitel 4) war zu 100 % erfolgreich. Die ungefähre Lage sämtlicher Gebäude innerhalb des Testgebietes konnte bestimmt werden. Im Hinblick auf die Zielsetzungen des Projekts ATOMI sollte die Bestimmung der Umrisslinien unter Verwendung der genäherten Lage, des Datensatzes VECTOR25 sowie Höhen- und Bildinformation möglich sein. Dies entspräche dann der Nachführung einer digitalen Karte.

Die Bestimmung von 3-D Kanten ist kein Forschungsschwerpunkt im Projekt. Die verwendeten 2-D Kantenbestimmungsverfahren (Henricsson, 1996) erzeugen sehr gute Resultate innert annehmbarer Zeit. Die Suche nach korrespondierenden Kanten unter Verwendung des digitalen Oberflächenmodells erwies sich als anwendbar, aber eine Zuhilfenahme der Epipolargeo-

metrie wie in (Zhang, 2000) könnte die Zuverlässigkeit der rekonstruierten Kanten erhöhen. Als wichtiges zu lösendes Problem verbleibt der Fall der Kanten, welche parallel zur Epipolarlinie verlaufen.

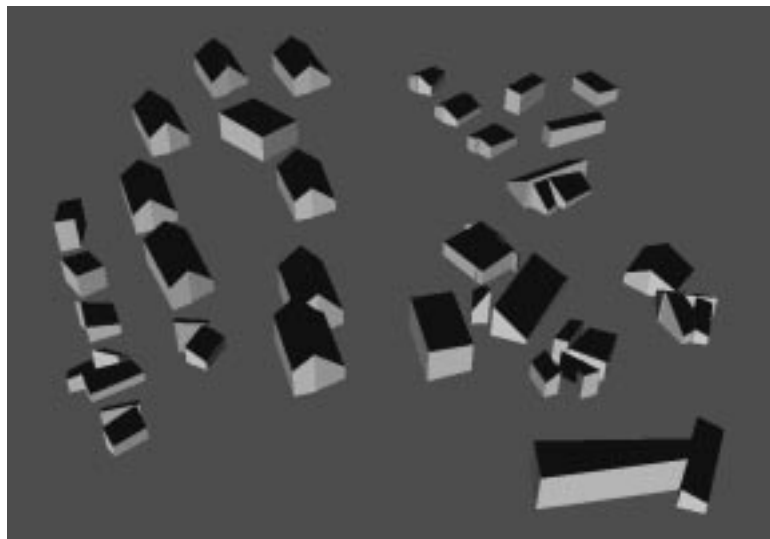


Abb. 7: Resultat für das ganze Testgebiet

Es ist offensichtlich, dass eine Gebäuderekonstruktion mit 2-fach-Überlappung und einer Bodenauflösung der Bilder von 0.22 m nicht für 100% der Fälle erfolgreich sein kann, und vor allem die Zuverlässigkeit der gefundenen Lösungen kann nur schwer überprüft werden. Darum wurden alle rekonstruierten Gebäude im Testgebiet analysiert und Gründe für ein allfälliges Versagen der angewandten Methoden gesucht.

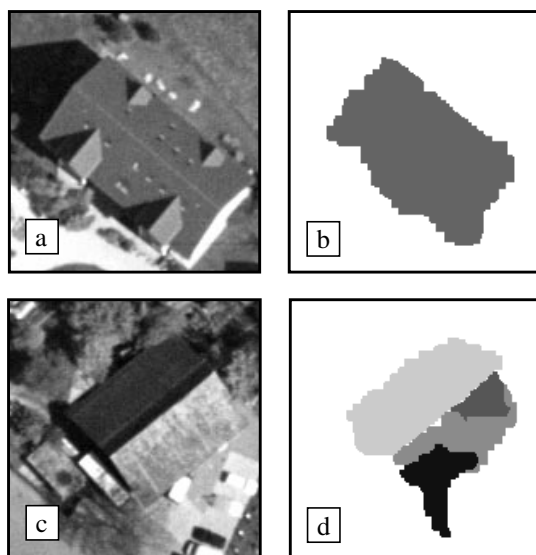


Abb. 8: Beispiele für ungenügende Klassifizierungsergebnisse

Die Probleme, welche zu einer falschen Rekonstruktion führen, werden in erster Linie durch ein ungenügendes Klassifizierungsergebnis bei der Ermittlung der einzelnen Dachflächen verursacht. In einigen Fällen waren die radiometrischen Unterschiede zwischen zwei Flächen zu klein und sogar für das menschliche Auge kaum wahrnehmbar. Beide Flächen wurden dann der selben Klasse zugeordnet und konnten nicht voneinander getrennt werden. Darum wurde in einigen Fällen (Beispiel siehe Abb. 8a und Abb. 8b) ein Flachdach rekonstruiert. Ebenfalls zu Problemen führt, wenn die radiometrischen Unterschiede auf einer einzelnen Dachfläche so gross sind, dass einzelne Teile verschiedenen Klassen zugewiesen werden. Dies führt zu einer Segmentierung der Dachfläche in mehrere Teile (siehe Abb. 8c und Abb. 8d).

Eine mögliche Lösung für das Problem der radiometrischen Variabilität wäre die Verwendung eines genaueren DOM (z.B. Laserscanner-Daten), welche die Ermittlung der Richtung und des Betrages der Höhenwert-Gradienten erlauben würde. Die Dachflächenbestimmung würde durch die Bestimmung von Flächen mit ähnlichen Gradientenwerten unterstützt. Zusätzlich würde die Verwendung eines Laser-DOM die Genauigkeit der rekonstruierten Gebäude erhöhen.



## 7 Zusammenfassung

Es wurden Methoden für die Detektion und Rekonstruktion von Gebäuden aus mittelmasstäbigen Luftbildern gezeigt ohne Verwendung von Zusatzdaten (Laserscanner, Infrarot-Bilder) gezeigt. Obwohl die Verwendung eines einzelnen Stereomodells Probleme mit sich bringt, wenn ein bestimmtes Feature in einem der Bilder nicht sichtbar ist, konnte gezeigt werden, dass eine grobe 3-D Rekonstruktion aus einem einzelnen Luftbild-Stereomodell möglich ist. Das Resultat der Detektion und Rekonstruktion ist ein Beitrag zum Erreichen der Ziele im Projekt ATOMI, die Korrektur der genäherten Vektordaten und die Reduktion der Generalisierung. Die Bestimmung einer oder mehrerer repräsentativen Gebäudehöhen kann dann unter Verwendung des DOM und/oder der rekonstruierten Gebäude erfolgen.

## 8 Literaturverzeichnis

- BAILLARD C., SCHMID C., ZISSERMAN A., FITZGIBBON A., 1999: Automatic line matching and 3D reconstruction of buildings from multiple views. IAPRS, Munich, Germany, Vol. 32, Part 3-2W5, pp. 69-80
- EIDENBENZ CH., KÄSER CH., BALTSAVIAS E., 2000: ATOMI - Automated reconstruction of Topographic Objects from aerial images using vectorized Map Information. IAPRS, Amsterdam, Netherlands, Vol. XXXII
- GRUEN A., KÜBLER O., AGOURIS P. (Eds.), 1995: Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images. Birkhäuser Verlag, Basel
- GRUEN A., BALTSAVIAS E., HENRICSSON O. (Eds.), 1997: Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (II). Birkhäuser Verlag, Basel
- HAALA N., WALTER V., 1999: Automatic classification of urban environments for database revision using lidar and color aerial imagery. IAPRS, Valladolid, Spain, Vol. 32, Part 7-4-3 W6, pp. 76-82
- HENRICSSON O., 1996: Analysis of image structures using color attributes and similarity relations. Dissertation, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zürich, Switzerland
- MAAS H.-G., 1999: Closed solutions for the determination of parametric building models from invariant moments of airborne laserscanner data. IAPRS, Munich, Germany, Vol. 32, Part 3-2W5, pp. 193-199
- NIEDERÖST M., 2000: Reliable reconstruction of buildings for digital map revision. IAPRS, Amsterdam, Netherlands, Vol. XXXII
- NIEDERÖST, M., 2000: Detection and reconstruction of buildings for a 3-D landscape model of Switzerland. Urban 3D/Multi-Media Mapping 2000 Workshop (UM3 2000), Tokyo, Japan
- PRATT W. K., 1991: Digital image processing. John Wiley & Sons Inc., New York
- SIBIRYAKOV A., 1996: House detection from aerial color images. Internal Report, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zürich, Switzerland
- ZHANG CH., BALTSAVIAS E., 2000: Image analysis for 3-D edge extraction and knowledge-based road reconstruction. IAPRS, Amsterdam, Netherlands, Vol. XXXII