

MDL-basierte Formrekonstruktion zur Gebäudeextraktion

UWE WEIDNER¹

Abstract: Approaches to building extraction from digital data have to solve two tasks: detection and shape reconstruction. This paper deals with an MDL-based approach incorporating data and model knowledge for shape reconstruction. The input data are high-resolution Digital Elevation Models, in which the objects to be extracted are automatically detected and their shape is reconstructed using prismatic building models.

1 Einleitung

In den letzten Jahren ist die Nachfrage nach 3D-Geometriedaten in städtischen Bereichen ständig angewachsen. Diese Daten werden für eine Reihe von unterschiedlichen Anwendungen nachgefragt. Hierzu gehören Anwendungen aus dem Architektur- und städteplanerischem Bereich, sowie Simulationsanwendungen, wie z. B. Senderplanung für Mobiltelefone oder Lärmschutzberechnungen. So unterschiedlich wie die Anwendungen selbst sind auch die Anforderungen an diese 3D-Daten bezüglich der geforderten Genauigkeiten und Detailliertheit, sowie der Repräsentationsformen. Die Photogrammetrie ist hier als Anbieter der Daten gefragt. Klassische Verfahren der Photogrammetrie sind jedoch häufig teuer im Hinblick auf die geforderte Informationsdichte und aufgrund der Tatsache, daß sie nicht für diese Anwendungen eingerichtet sind. Aus diesen Gründen ist es wünschenswert, Verfahren einzusetzen, die auf digitalen Daten beruhen und eine weitgehende Automation ermöglichen.

Zu diesen Verfahren gehört u. a. das in LANG & SCHICKLER 1993 beschriebene semiautomatische Verfahren zur Gebäudeextraktion aus digitalen Luftbildern. Bei diesem Verfahren verbleibt die Aufgabe der Interpretation dem Operateur, die Meßaufgaben sind automatisiert und werden vom Rechner durchgeführt. HAALA 1994 schlägt ein Verfahren basierend auf digitalen Luftbildern und Digitalen Höhenmodellen, welche nicht nur Information über die topographische Oberfläche, sondern auch über die Gebäude enthalten, vor. Die verwendeten DHMs werden mittels Matching-Verfahren, wie z. B. KRZYSTEK 1991, automatisch erzeugt.

Im Gegensatz hierzu haben wir uns mit der Frage beschäftigt, 3D-Geometriedaten nur aufgrund von digitalen Flächenbeschreibungen durch ein wie obenbeschriebenes hochauflösendes DHM, abzuleiten. Dies ermöglicht auch die Benutzung von DHM, die nicht aus digitalen Bildern, sondern durch andere Meßverfahren, wie z. B. Laserabtastung (LINDENBERGER 1993, LOHR & EIBERT 1995), bestimmt wurden. Die geometrische Beschreibung von Gebäuden durch ein hochauflösendes DHM scheint eine gute intermediäre Repräsentation zur Verbindung von beobachteten Daten und Modellwissen darzustellen, obgleich die Repräsentation nicht in allen Fällen, z. B. Durchfahrten, ausreichend ist, die Lageauflösung immer an die Auflösung des benutzten DHMs gekoppelt ist,

¹Dipl.-Ing. Uwe Weidner, Institut für Photogrammetrie, Nußallee 15, 53115 Bonn, email: weidner@ipb.uni-bonn.de

und das DHM allein nicht immer eine Unterscheidung zwischen Gebäuden und anderen Objekten (z. B. Bäumen) erlaubt.

Das hier vorgestellte Verfahren zur Gebäudeextraktion besteht aus Teilverfahren zur Detektion und zur Formrekonstruktion. Beide nutzen Vorwissen über die zu extrahierenden Objekte. In die Formrekonstruktion fließt das Vorwissen durch die genutzten parametrischen und prismatischen Modelle ein. Prismatische Modelle sind gegeben durch ein Umrißpolygon und Höheninformation. Im Fall von Gebäuden zeichnen sich diese Umrißpolygone durch Regularitäten, wie z. B. Orthogonalitäten, Parallelitäten und Kollinearitäten, aus, die durch den hier beschriebenen *Minimum-Description-Length*- (MDL-)basierten Ansatz in der Rekonstruktion lokal und global berücksichtigt werden. Hierdurch unterscheidet sich unser Ansatz von nur lokal arbeitenden Verfahren zur Formrekonstruktion (siehe Literaturangaben in FISCHLER & WOLF 1994).

Im folgenden Abschnitt wird das Prinzip der Minimalen Beschreibungslänge beschrieben, bevor in Abschnitt 3.1 die Gebäudedetektion und in Abschnitt 3.2 die Gebäuderekonstruktion anhand von Digitalen Höhenmodellen dargestellt wird.

2 MDL-Prinzip

Das in Abschnitt 3.2 beschriebene Verfahren zur Rekonstruktion der Grundrißpolygone eines Gebäudes basiert auf der Nutzung des Prinzips der Minimalen Beschreibungslänge. Die Beschreibungslänge DL eines Polygons, das eine Menge \mathcal{P} von Punkten approximiert, ist abhängig von den Abweichungen zwischen den beobachteten Daten (Punktkoordinaten) und dem Modell (rekonstruiertes Polygon), sowie der Komplexität des Modells. Die Abweichung der Daten vom Modell ist gegeben durch die gewichtete Summe der Residuen Ω einer ML-Schätzung, die Komplexität ist abhängig von der Anzahl der unbekanntenen freien Parameter der Schätzung, sowie der Anzahl der beobachteten Daten.

Gegeben sei nun das Modell

$$E(\mathbf{y}) = \mathbf{g}(\boldsymbol{\beta}), \quad D(\mathbf{y}) = \boldsymbol{\Sigma}_{yy} \quad (1)$$

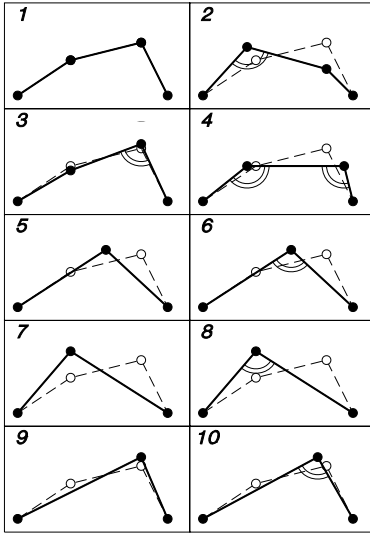
mit dem $u' \times 1$ Vektor $\boldsymbol{\beta}$ der unbekanntenen Parameter, dem $n \times 1$ Vektor \mathbf{y} der Beobachtungen und ihrer Kovarianzmatrix $\boldsymbol{\Sigma}_{yy}$. Werden in dieses Modell Bedingungen $\mathbf{h}(\boldsymbol{\beta}) = \mathbf{w}$ eingeführt, so ist die Beschreibungslänge dann gegeben durch (RISSANEN 1987)

$$DL = \frac{\Omega}{2 \ln 2} + \frac{u}{2} \ln n \quad (2)$$

wobei $u = u' - h$ die Anzahl der freien Parameter der Schätzung ist, h die Anzahl von Bedingungen bezeichnet und Ω durch

$$\Omega = [\mathbf{y} - \mathbf{g}(\hat{\boldsymbol{\beta}})]^T \boldsymbol{\Sigma}_{yy}^{-1} [\mathbf{y} - \mathbf{g}(\hat{\boldsymbol{\beta}})] \quad (3)$$

gegeben ist. Gemäß dem Prinzip der Minimalen Beschreibungslänge wird nun die Beschreibung gesucht, welche (2) minimiert. Hierdurch erfolgt gleichzeitig eine Modellauswahl und Anpassung an die Daten.



a	appr.val.	\perp at	$\Omega_a/2 \ln 2$	DL_a
1	-	-	0.00	3.00
2	p_2, p_3	p_2	376.16	378.16
3	p_2, p_3	p_3	3.46	5.46
4	p_2, p_3	p_3, p_3	1393.33	1394.33
5	$(p_2 + p_3)/2$	-	1.57	2.07
6	$(p_2 + p_3)/2$	$(p_2 + p_3)/2$	177.39	177.39
7	p_2	-	4.53	5.03
8	p_2	p_2	124.11	124.11
9	p_3	-	0.39	0.89
10	p_3	p_3	0.71	0.71

Abbildung 1: Lokale Konfigurationen und ihre Beschreibungslängen (aus: BRUNN *et al.* 1995)

Zur Erläuterung sollen die in Abb. 1 dargestellten lokalen Konfigurationen dienen. Bei diesen Konfigurationen werden die Punkte p_1 und p_4 als fest betrachtet. Konfiguration 1 ist die gegebene Konfiguration. Die Konfigurationen unterscheiden sich voneinander durch die Anzahl der zur Beschreibung verwendeten Punkte und die eingeführten Restriktionen (hier: Rechtwinkligkeit, Fläche), sowie die eingeführten Näherungswerte. Die zugehörigen Kenngrößen sind in der Tabelle zusammengestellt. Aufgrund des *MDL*-Prinzips wird als optimale Beschreibung Konfiguration 10 gewählt.

3 Gebäudeextraktion

Unser Ansatz zur Gebäudeextraktion aus hochauflösenden DHM unter Verwendung prismatischer Modelle besteht aus zwei Schritten – der Detektion und der Formrekonstruktion, die im folgenden beschrieben werden.

3.1 Gebäudedetektion

Die Grundidee des Verfahrens zur Gebäudedetektion ist die Isolierung der im DHM enthaltenen Information über die Gebäude und anschließende Segmentierung durch Binarisierung mit einer gebäuderelevanten Höhe als Schwellwert. Die Isolierung der Gebäudeinformation erfolgt durch Differenzbildung zwischen dem DHM mit den Gebäuden und einem DHM, welches nur die Information über die topographische Oberfläche enthält. Hierdurch werden die in den Daten enthaltenen Informationen über Gebäude in erster Näherung auf eine Ebene bezogen und die oben skizzierte Segmentierung ermöglicht.

Ist das ursprüngliche DHM aus digitalen Bildern gerechnet worden, besteht die Möglichkeit ein DHM mit nur topographischer Oberflächeninformation aus den Bildern zu generieren. Liegen jedoch Daten aus Lasermessungen vor, besteht diese Möglichkeit nicht, sodaß hier ein anderer Weg gewählt wurde: eine Approximation der topographischen Oberfläche wird in unserem Ansatz durch Anwendung der mathematischen Morphologie (hier: *Opening*) berechnet.

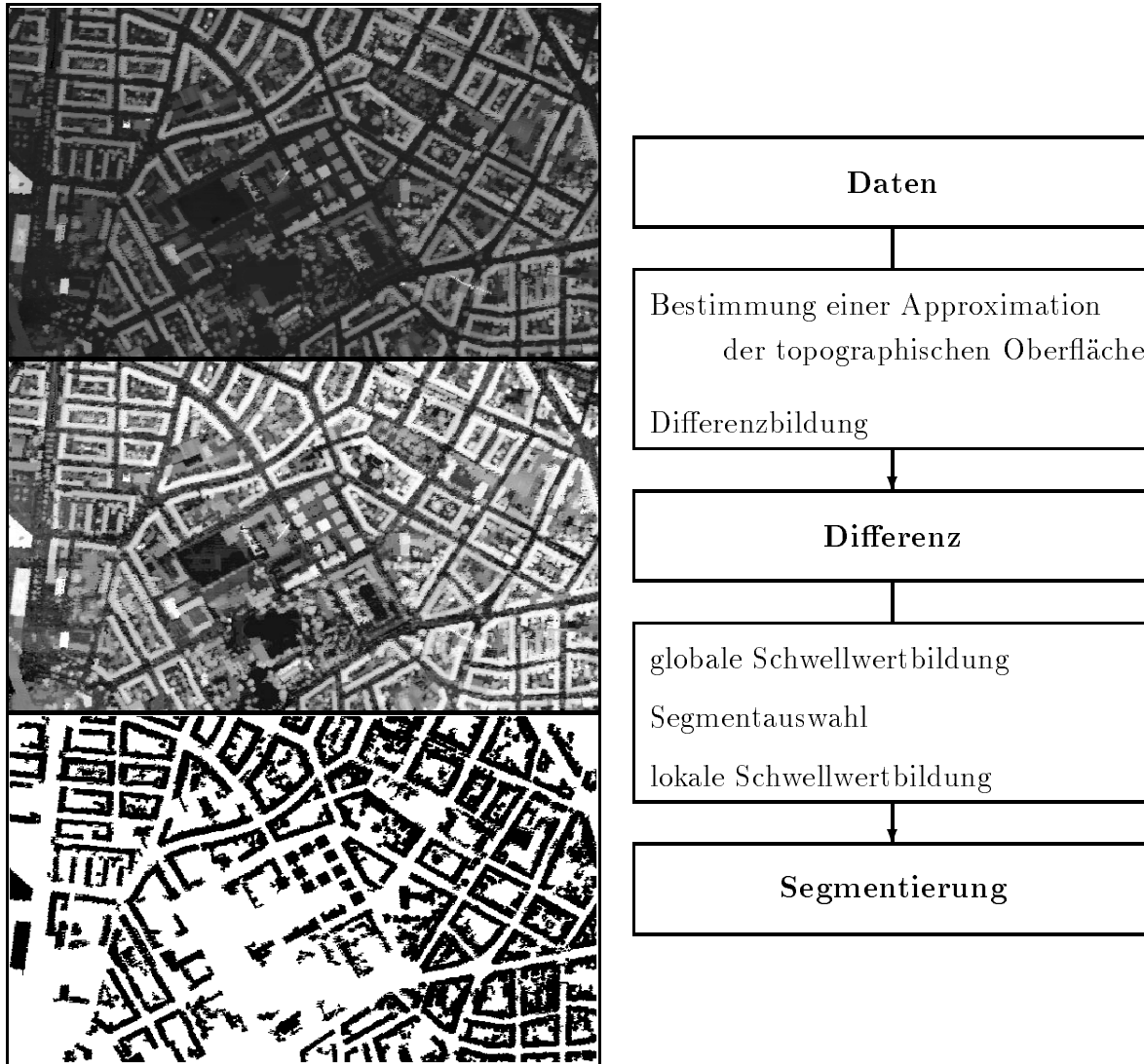


Abbildung 2: Ablauf der Gebäudedetektion

Nach der Differenzbildung wird der erhaltene Differenzdatensatz binarisiert. Der Schwellwert kann aus Vorinformation, z. B. einer mittleren Geschosshöhe, abgeleitet werden. Die so bestimmte Segmentierung enthält neben Segmenten, die Gebäude repräsentieren, auch kleine Segmente von nicht zur topographischen Oberfläche gehörenden Objekten, wie z. B. einzeln stehenden Bäumen. Weiterhin ist die globale Segmentierung aufgrund der durch die DHM-Generierung hervorgerufenen Ausrundungen an den Gebäudekanten i. A. nicht optimal. Daher wird eine Segmentauswahl durchgeführt, die als Kriterium die erwartete minimale Gebäudegrundfläche nutzt, und die erste globale Segmentierung verfeinert, indem der Schwellwert aufgrund der Höheninformation innerhalb eines umschreibenden Rechtecks um die Segmente adaptiert wird.

Der Ablauf der Gebäudedetektion ist in Abb. 2 dargestellt. Das DHM² beinhaltet einen Innenstadtbereich aus Hannover und wurde durch Laserabtastung gewonnen. Die Lageauflösung ist $2m \times 2m$. Weitere Informationen zu unserem Ansatz zur Gebäudedetektion sind in WEIDNER & FÖRSTNER 1995 gegeben.

3.2 Gebäuderekonstruktion

Auf Grundlage der bei der Gebäudedetektion bestimmten Segmente erfolgt die Rekonstruktion der Gebäudegrundrißpolygone. Die zugehörige Höheninformation wird aus dem ursprünglichen DHM abgeleitet. Der Gesamtablauf der Rekonstruktion ist in Abb. 3 zusammengestellt.

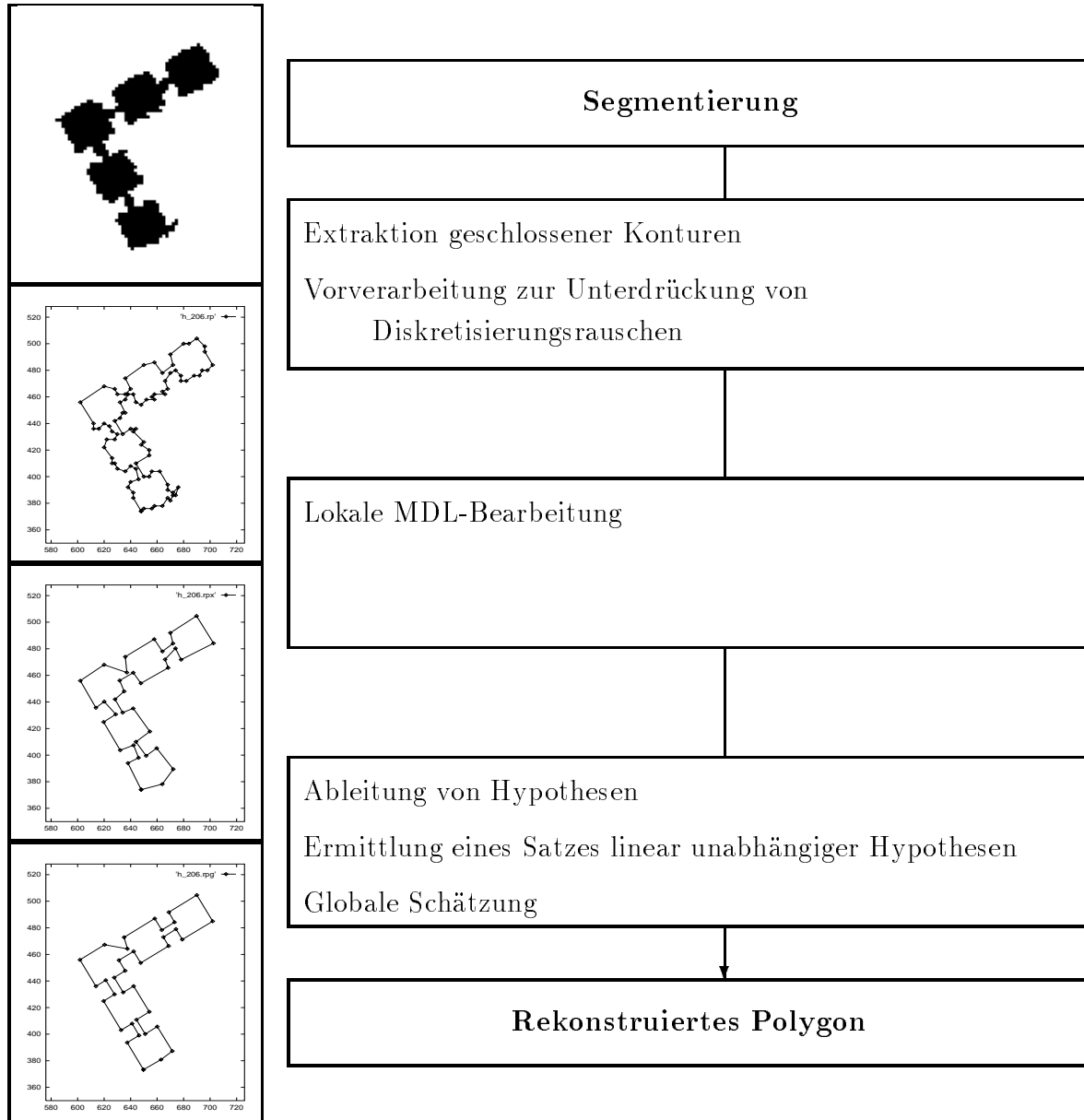


Abbildung 3: Ablauf der Gebäuderekonstruktion

²Das DHM wurde uns von der Firma Dornier, Friedrichshafen zur Verfügung gestellt.

Der erste Schritt ist die Bestimmung von geschlossenen Umrißpolygonen durch Verfolgung der Segmentränder, inklusive der Ränder von Segmentlöchern, die z. B. Innenhöfe repräsentieren. Anschließend wird ein Verschmelzungs(*Merge*)verfahren zur Eliminierung des durch das Raster bedingte Diskretisierungsrauschen angewendet. Kriterium für dieses Verfahren ist die Höhe des Dreieckes, das durch drei aufeinanderfolgende Polygonpunkte gebildet wird. Ist sie kleiner als ein vorgegebener Schwellwert wird der zugehörige Punkt eliminiert. Der benutzte Schwellwert ist abhängig von der Rasterweite des DHM. Das Vorwissen über Regularitäten von Gebäudegrundrißpolygonen wird bei der anschließenden MDL-basierten lokalen und globalen Bearbeitung genutzt. Hierzu wird zuerst eine lokale Bearbeitung durchgeführt, die die in Abb. 1 angegebenen lokalen Konfigurationen berücksichtigt. Als Vorwissen werden hierbei Hypothesen über die Rechtwinkligkeit von zwei aufeinanderfolgenden Polygonseiten eingeführt. Ferner wird eine Reduzierung der Komplexität der Beschreibung durch Reduzierung der Punkte überprüft. Für das aus der lokalen MDL-Bearbeitung resultierende Polygon werden Hypothesen über Rechtwinkligkeiten benachbarter Polygonseiten, sowie über Parallelitäten und Kollinearitäten aller Polygonseiten generiert. Diese generierten Hypothesen sind i. A. nicht linear unabhängig, sodaß ein Satz von linear unabhängigen Hypothesen ermittelt werden muß. Dieser Satz von linear unabhängigen Hypothesen wird dann in die anschließende globale Schätzung (FUCHS & FÖRSTNER 1995) eingeführt. Lokale und globale Bearbeitung können in unterschiedlicher Weise miteinander verknüpft werden (BRUNN *et al.* 1995). Für die hier dargestellten Ergebnisse wurde die lokale Bearbeitung solange durchgeführt bis keine lokale Änderung mehr auftrat und anschließend eine globale Ausgleichung durchgeführt.

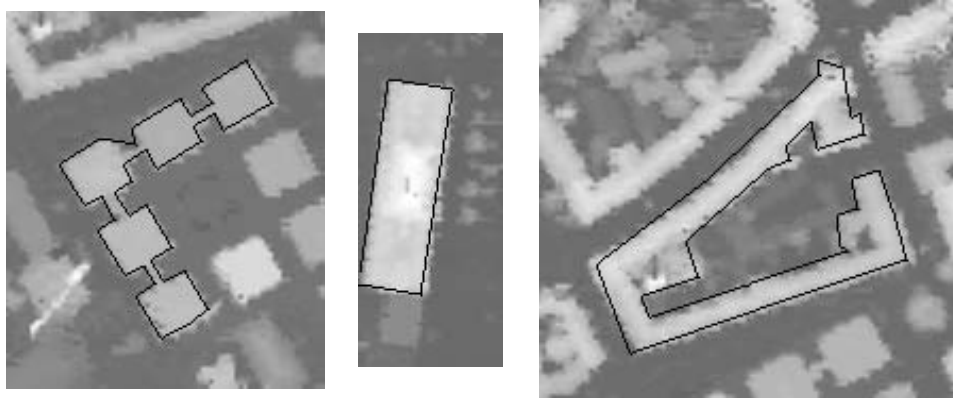


Abbildung 4: Überlagerungen

Abb. 4 zeigt Überlagerungen der DHM-Daten mit rekonstruierten Polygonen. Für diese Polygone führte die lokale MDL-Bearbeitung zu einer Reduktion der Punkte von 98 auf 36, von 36 auf 7 und von 134 auf 29. Eine qualitative Bewertung zeigt kleinere Abweichungen, insgesamt erscheinen die Ergebnisse jedoch akzeptierbar. Diese Abweichungen sind zum einen in der hier gewählten Vorgehensweise der Verknüpfung von lokaler und globaler Bearbeitung begründet, andererseits sind auch nicht alle Hypothesen, die in die robuste Schätzung eingeführt wurden, korrekt. Abb. 5 stellt die Eingangsdaten und das rekonstruierte prismatische Modell gegenüber.

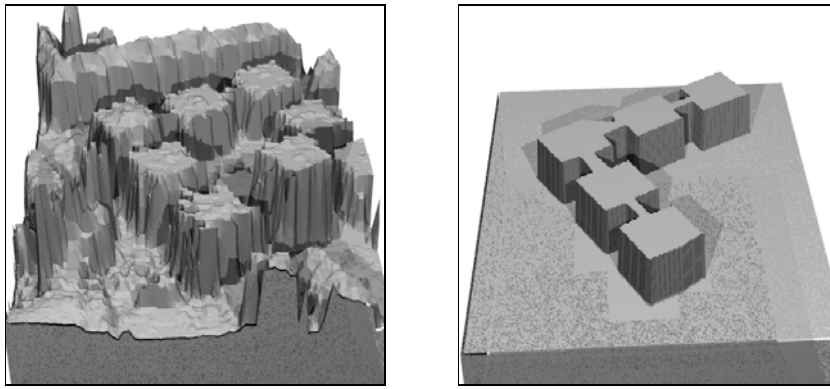


Abbildung 5: Eingangsdaten und extrahiertes Modell

4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse des entwickelten Verfahrens zur Formrekonstruktion erscheinen bei einem ersten qualitativen Vergleich mit den Eingangsdaten zufriedenstellend, jedoch sind auch kleinere Abweichungen feststellbar, deren Gründe noch genauer untersucht werden müssen. Das Verfahren ist nicht nur in dem hier aufgezeigten Kontext anwendbar, es läßt sich vielmehr auch auf andere Anwendungsbereiche und Daten, z. B. die Analyse digitaler Bilder, übertragen. Weiterhin kann das Verfahren durch andere Formprimitive, wie z. B. Kreisbögen, und für Polygonnetze erweitert werden.

Die verwendeten einfachen prismatischen Modell sind durch die Erfassung der 3D-Dachstrukturen zu ergänzen. Abb. 6 zeigt die Daten eines Daches und durch Vorverarbeitung gefundene Dachsegmente. Diese Segmente können als Ausgangsbasis für eine MDL-basierte Rekonstruktion der Dachform genutzt werden. Ansätze aus dem Bereich der Entfernungsbildanalyse (ARMAN & AGGARWAL 1993, LEONARDIS 1993) sind auf ihre Übertragbarkeit für die Anwendung Gebäudeextraktion aus hochauflösenden Digitalen Höhenmodellen als Spezialfall eines Entfernungsbildes zu untersuchen.

Weiterhin kann im Rahmen der Gebäudedetektion auch Karteninformation genutzt werden. Hier ergeben sich dann Fragestellungen bezüglich der Integration von Daten und Karteninformation, die vielleicht nicht immer den aktuellen Stand repräsentiert.

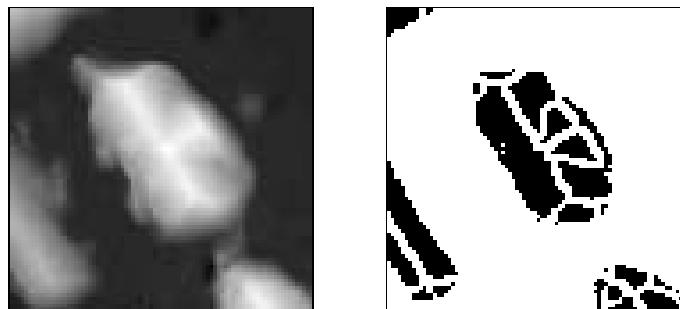


Abbildung 6: Segmentierung der Dachflächen

Literatur

- ARMAN, F.; AGGARWAL, J. K. (1993): Model-Based Object Recognition in Dense-Range Images – A Review. *ACM Computing Surveys*, 25(1), 1993.
- BRUNN, A.; WEIDNER, U.; FÖRSTNER, W. (1995): Model-based 2D-Shape Recovery. In: SAGERER, G.; POSCH, S.; KUMMERT, F. (Hrsg.), *Mustererkennung 1995*, Seiten 260–268. DAGM, Springer, 1995.
- FISCHLER, M.A.; WOLF, H.C. (1994): Locating Perceptually Salient Points on Planar Curves. *IEEE T-PAMI*, 16(2):113–129, 1994.
- FUCHS, C.; FÖRSTNER, W. (1995): Polymorphic Grouping for Image Segmentation. In: *Proceedings 5th International Conference on Computer Vision*, 1995.
- HAALA, N. (1994): Detection of Buildings by Fusion of Range and Image Data. In: *ISPRS Comm. III Symposium on Spatial Information from Digital Photogrammetry and Computer Vision, Proceedings*, Seiten 341–346. SPIE, 1994.
- KRZYSZEK, P. (1991): Fully Automatic Measurement of Digital Elevation Models. In: *Proceedings of the 43rd Photogrammetric Week, Stuttgart*, Seiten 203–214, 1991.
- LANG, F.; SCHICKLER, W. (1993): Semiautomatische 3D-Gebäudeerfassung aus digitalen Bildern. *ZPF*, 5:193–200, 1993.
- LEONARDIS, A. (1993): *Image Analysis Using Parametric Models*. Dissertation, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, University of Ljubljana, 1993.
- LINDENBERGER, J. (1993): *Laser-Profilmessungen zur topographischen Geländeaufnahme*, Band 400 der Reihe C. Deutsche Geodätische Kommission, München, 1993.
- LOHR, U.; EIBERT, M. (1995): The TopoSys Laser Scanner System. In: FRITSCH, D.; HOBBIIE, D. (Hrsg.), *Photogrammetric Week*, Seiten 263–267. Wichmann, Karlsruhe, 1995.
- RISSANEN, I. (1987): Minimum Description Length Principle. *Encyclopedia of Statistical Sciences*, 5:523–527, 1987.
- WEIDNER, U.; FÖRSTNER, W. (1995): Towards Automatic Building Extraction from High Resolution Digital Elevation Models. *ISPRS Journal*, 50(4):38–49, 1995.