

# Nachbarschaftsbasierte Segmentierung in Flugzeuglaserscannerdaten

ALEXANDRA D. HOFMANN<sup>1</sup>, HANS-GERD MAAS<sup>1</sup>, MATTHIAS SCHULZE<sup>1</sup>

*Zusammenfassung: eCognition wurde im Zusammenhang mit der Detektierung von Häusern unter Verwendung von Laserscannerdaten getestet. Im Vordergrund steht die Segmentierung der Höhendaten und anschließende Klassifikation von gebäudebeinhaltenden Segmenten. Als Hilfsmittel ist eine digitalisierte topographische Pixelkarte (1:25000) vorhanden. Orthophotos des Testgebietes konnten nur zur visuellen Kontrolle eingesetzt werden. Ergebnisse und Probleme der Daten und des Ansatzes werden im Folgenden diskutiert.*

## 1 Hintergrund

Dank der in den letzten Jahren stark gestiegenen Punktdichte von Flugzeuglaserscannersystemen bieten sich Laserscannerdaten als vielversprechende Alternative oder Ergänzung zu optischen Bilddaten für Aufgaben der Detektierung und Modellierung von Gebäuden an. Eine interessante Anwendung ist beispielsweise die automatische Detektierung und Segmentierung von Gebäuden zur Kartennachführung und die Extraktion von Gebäudeparametern für die Erweiterung des Informationsinhalts von aus bestehenden Karten generierten Topographischen Informationssystemen.

In jüngster Zeit hat die Bildverarbeitungssoftware eCognition als Werkzeug zur Segmentierung und Klassifikation in Bilddaten stark an Bedeutung gewonnen. Beschreibungen zum Programmablauf und Anwendungsbeispiele sind in HOFFMANN & VAN DER VEGT (2001), JANOTH et.al. (2002), NEUBERT & MEINEL (2002) und PILZ & STROBEL (2002) gegeben. HOFFMANN, VAN DER VEGT & LEHMANN (2000) verwenden eCognition zur Gebäudedetektierung in hochauflösenden digitalen Luftbilder (HRSC-A Kamera). Flugzeuglaserscannerdaten werden als sekundärer Datensatz eingesetzt. Die primäre Verwendung von Flugzeuglaserscannerdaten zur Gebäudeextraktion ist seit einigen Jahren Gegenstand der Forschung. Verschiedenste Ansätze der Gebäudeextraktion unter Zuhilfenahme von Grundrissdaten, Orthophotos oder Katasterinformationen werden in BRUNN & WEIDNER (1997), FORLANI & NARDINOCCHI (2001), GÜLCH (2001), STILLA et.al. (2001), und VOSSELMAN & SUVEG (2001) diskutiert und analysiert. Ansätze pur auf der Basis von Laserscannerdaten beschreiben HUG & WEHR (1997) und MAAS & VOSSELMANN (1999).

Dieser Artikel zeigt inwieweit eCognition Möglichkeiten bietet, nur aus Laserscannerdaten Objektinformationen zu extrahieren. Dafür sollen bis auf eine als digitalisierte Pixelkarte vorhandene topographische Karte keine weiteren Datensätze verwendet werden.

---

<sup>1</sup> Dipl.-Ing. Alexandra D. Hofmann, Prof. Dr. habil. Hans-Gerd Maas, Matthias Schulze, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Dresden, Mommsenstr. 13, 01062 Dresden,  
e-mail: Alexandra.Hofmann@mailbox.tu-dresden.de

## 2 Testgebiete und Datengrundlagen

Aus dem Testdatensatz der Region Gruyères (Schweiz) wurden ein dörfliches und ein urbanes Studiengebiet mit je 7 km<sup>2</sup> ausgewählt. Das ländliche, voralpine Studiengebiet ist durch Felder, Wälder und Einzelhausbebauung im typischen regionalen Stil gekennzeichnet. Als urbanes Gebiet wurde die Kleinstadt Bulle gewählt. In diesem hügeligem Gebiet gibt es neben städtischer Wohnbebauung auch Einzelhaussiedlungen und Gewerbegebiete.

Die in 2001 geflogenen first-pulse Laserscannerdaten haben einen mittleren Punktabstand von 1.2 m. Die Höhendatensätze wurden auf ein regelmäßiges Raster (1m<sup>2</sup>) interpoliert. Die einzelnen Ebenen (Situationen, Wald, Gewässer) der topographischen Karte von 1995 (1:25000) wurden jeweils nach morphologischer Filterung in das eCognition Projekt eingebracht. Ein Orthophoto von 1998 konnte zur visuellen Überprüfung der Ergebnisse genutzt werden. Laserscannerdatensatz und Orthophoto bzw. Pixelkarte weisen teilweise erhebliche Lageverschiebungen (bis zu 12 m) auf, welche zum Teil auf die Erstellung (false Orthophoto) bzw. auf Generalisierungseffekte zurückzuführen sind.

Zu Beginn der Studie wurden statistische Daten der Gebiete erhoben. Das ländliche Studiengebiet enthält ca. 820 Häuser, abgeleitet aus dem aktuellen Oberflächenmodell des Laserscannerdatensatzes. Davon sind in der Pixelkarte 93% und im Orthophoto 95% vorhanden. Im städtischen Bereich wurden 1630 Häuser gezählt, wovon 93% im Orthophoto und 91% in der Karte vorhanden sind.

## 3 Objektorientierte Bildanalyse mit eCognition

eCognition bietet als erste kommerzielle Software die Möglichkeit, Datensätze objektorientiert zu analysieren und auszuwerten. Die in eCognition erzeugten Bildobjekte enthalten wesentlich mehr Informationen als einzelne Pixel. Neben den spektralen Eigenschaften lassen sich zusätzlich Form- und Textureigenschaften des Objektes sowie Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den Objekten ableiten. Ziel der Nutzung von eCognition ist es, einen automatisierten Ablauf einer Gebäudeextraktion mit einem beliebigen Datensatz zu ermöglichen.

Der objekt-orientierte Ansatz der Objektextraktion besteht aus den zwei Teilschritten Segmentierung und Klassifizierung. Der Segmentierungsalgorithmus basiert auf der sogenannten „bottom up region-merging“ Technik. Dabei wird, beginnend mit der Bildpixelebene, jedes Pixel mit demjenigen Nachbapixel zusammengefasst, welches die größte Ähnlichkeit hat. In einer Reihe von Schritten wird aus einem Zweipixelobjekt unter Wahrung möglichst guter Homogenität eine immer größere Pixelgruppe gebildet, bis ein bestimmter Grenzwert für die Heterogenität (scale parameter) erreicht ist. Die so entstandenen Pixelgruppen (Segmente) werden hinsichtlich der Homogenitätskriterien nach Wert (color) und Form (shape) optimiert. Mit diesen drei Parameter (scale, color und shape) kann der Nutzer die Segmentierung steuern. eCognition stellt zwei Arten von überwachter Klassifikation zur Verfügung: die sample-based und die rule-based Klassifikation. Die sample-based Klassifikation, wie aus üblichen Klassifikationsprogrammen bereits bekannt, basiert auf manuell festgelegten Trainingsgebieten, anhand derer Zuordnung mittels nächster Nachbarschaft die Bildobjekte im mehrdimensionalen Merkmalsraum einer bestimmten Klasse zugeordnet werden. Eine genaue Definition von Objektmerkmalen lässt sich mit der rule-based Klassifikation aufbauen. Sie basiert auf den Regeln der Fuzzy-Logik und gibt eine Wahrscheinlichkeit für die Klassenzugehörigkeit

an. Eine umfassende Beschreibung der Software eCognition kann in DEFINIENS IMAGING (2002) nachgelesen werden.

## 4 Analyse der Flugzeuglaserscannerdaten

### 4.1 Segmentierung in Flugzeuglaserscannerdaten

Aus der oben kurz beschriebenen Methodik der Segmentbildung kann als Forderung für eine optimale Segmentierung abgeleitet werden, dass sich die gesuchten Objekte deutlich von ihrer Umgebung abgrenzen und in sich relativ homogen sein müssen. Daraufhin wurden die Laserscannerdatensätze und davon abgeleitete Bilddaten (Gradientenbild und Gradientenrichtungsbild) hinsichtlich ihrer Segmentierungsmöglichkeiten untersucht.

Als erstes wurde die optimale geometrische Auflösung für die zu interpolierenden Datensätze gesucht. Wie schon oftmals festgestellt wurde, steigt die Segmentierungs- bzw. Klassifikationsgenauigkeit nicht unbedingt mit der geometrischen Auflösung. Denn eine höhere geometrische Auflösung hat auch ein größeres Maß an Heterogenität zur Folge, da mehr Einzelheiten eines Objektes (Dachgauben), als für eine Detektierung notwendig, sichtbar sind. Andererseits verlieren die durch die Segmentierung entstandenen Objekteigenschaften an Schärfe und Aussagefähigkeit, wenn die zugrunde liegende Pixelzahl pro Segment zu gering ist. Darunter zählen sämtliche Formeigenschaften. In diesem Sinne ist die Punktdichte und die daraus interpolierte geometrische Auflösung von  $1\text{m}^2$  ein notwendiger Kompromiss zwischen Homogenität und Aussagekraft der Objekte. Eine kleinere geometrische Auflösung würden eine korrekte Segmentierung erschweren.

Eine nur auf dem Laserscannerdatensatz beruhende Segmentierung ergab, dass ca. 82% der Gebäude korrekt segmentiert wurden, wie Tab. 1 zeigt. Eine korrekte, formgerechte Segmentierung heißt, dass mit einem Segment nur ein Objekt erfasst wird. Das Segment ist nur so groß wie nötig, um nicht andere Bildklassen in das Objekt einzubeziehen. Eine hinreichende Segmentierung kann bedeuten, dass Vegetation im Gebäudepolygon eingeschlossen ist.

Tab. 1 Qualität der Segmentierungsergebnisse [%]

	Korrekt	Hinreichend	Unzureichend
Stadt	85	10	5
Land	78	13	9
Durchschnitt	82	11	7

Grund für die im ländlichen Bereich schlechteren Segmentierungsergebnisse ist die Eigenart der näheren Umgebung der Gebäude. Wie im bergigem Gebiet üblich, ist eine Vielzahl an Häusern, insbesondere einstöckige Gebäude, in den Hang hinein gebaut. Der Höhenunterschied zwischen Gebäude und Umgebung ist somit Hang aufwärts weniger markant ausgeprägt, d.h. eine scharfe Trennung zwischen Gebäude und Hang ist so nicht möglich. An Häuser grenzende Bäume ergeben eine ähnliche Problematik. In diese Fällen liegt nur eine hinreichende oder sogar keine entsprechende Segmentierung vor. Aus diesen Gründen ist es nicht möglich, durchweg die sogenannten „meaningful objects“ zu erzeugen, welche eine Voraussetzung für eine fehlerfreie Klassifikation bilden.

Hinsichtlich einer Verbesserung der Segmentierung wurde nach weiteren Möglichkeiten im Höhendatensatz gesucht. Ziel ist ein Bild, in dem sich einzelne Objekte deutlich von ihrer Umgebung abgrenzen. Aus dieser Überlegung heraus, scheint ein mit einem Sobeloperator generiertes Gradientenbild (Sobelbild) oder ein Gradientenrichtungsbild (Aspektbild) folgerichtig. Eine Segmentierung des Aspektbildes (Abb. 1b) zeigt, dass es dazu geeignet ist, die Dachseiten entlang der Dachfirste der Häuser gut voneinander zu trennen. Eine Zusammenführung gegenüberliegender Dachseiten in eCognition durch weitere Segmentierungs- oder Klassifikationsverfahren war nicht möglich.

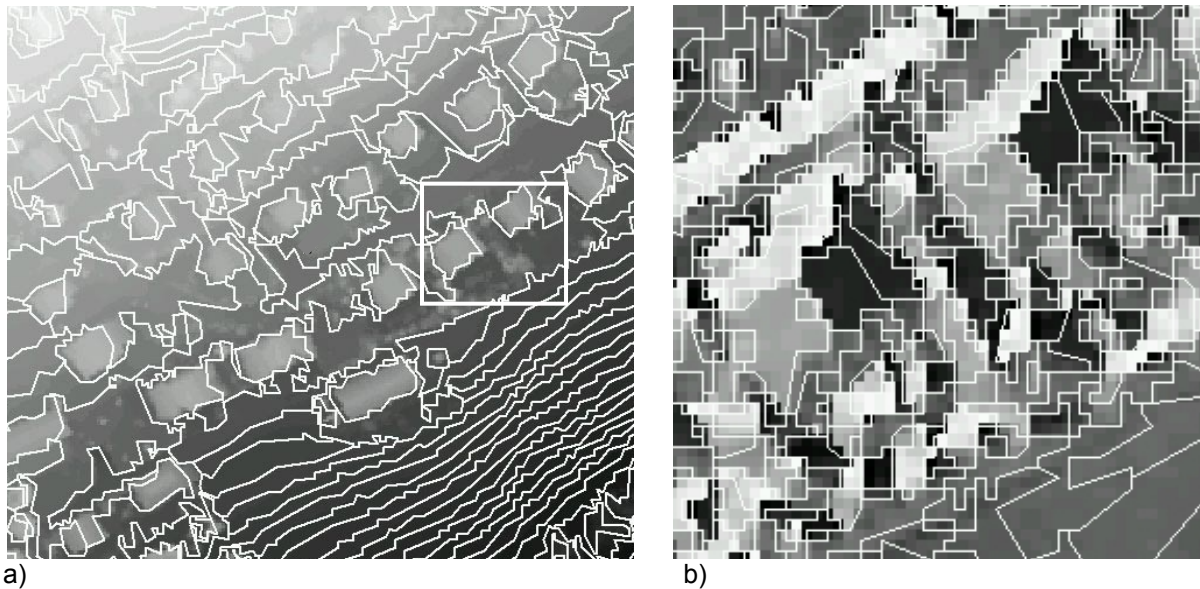


Abb. 1 a) Segmentierungsergebnis des Laserscannerdatensatzes b) Segmentierungsergebnis des Aspektbildes

Das Sobelbild gibt markante Höhenübergänge, wie sie z.B. an Hauskanten auftreten, wieder. Da sich ermittelte Gebäudekanten nicht nur von der Umgebung, sondern auch von der inneren Gebäudefläche deutlich unterscheiden, wird das Gebäude während der Segmentierung in Rand- und Gebäudesegment unterteilt. Die Forderung, ein Segment für ein Objekt zu bilden, wird hier nicht erfüllt.

Die besten Ergebnisse bei der letztendlichen Segmentierung (Abb. 1a) wurde am Laserscannerdatensatz (float) mit 100%iger Gewichtung auf dem color Parameter erzielt. Eine Gewichtung des Formparameters wurde wegen der unzureichenden Wahlmöglichkeiten des Formparameters in eCognition und der zum Teil unregelmäßigen Form der zu extrahierenden Objekte unterlassen. Eine Verlagerung des Gewichtes auf die Formparameter führt außerdem zu Einschränkungen in den Klassifikationsmöglichkeiten. So können für die Klassifikation keine Formmerkmale der Objekte gefunden werden, wenn kompakte Segmente erzeugt werden und Informationen für die Sublevelbildung mit dem Aspektbild gehen bei der Glättung der Segmentkanten verloren. Die beschriebenen Datensätze wurden in der Version 2.1 bearbeitet. Es sei hier darauf hingewiesen, dass teilweise erhebliche Änderungen in den Ergebnissen auftreten, wenn die Datensätze in der Version 2.0 untersucht werden.

## 4.2 Klassifizierung von Flugzeuglaserscannerdaten

In eCognition können komplexe, klassische Klassifikationseigenschaften mit GIS-technischen Abfragen kombiniert werden. Jedoch ist die Übertragung von Klassifikationsregeln auf andere Studienggebiete schwieriger mit steigender Komplexität des Klassifikationsalgorithmuses. Somit gilt es, einfache allgemeingültige Regeln für die Identifikation von Gebäudepolygonen zu finden.

Im Vorfeld der Klassifikation wurde der Informationsgehalt von aus den Laserscannerdaten abgeleiteten Bilddaten (Sobel-, Laplace, Textur- und Aspektbild) im Hinblick auf nützliche Klassifikationsparameter für eine Gebäudedetektierung untersucht. In den Aspekt-, Sobel- und Texturbilddaten konnten keine eindeutigen Merkmale gefunden werden. In die rule-based Klassifikation wurden ein mit einem Laplace-Filter vom Höhendatensatz abgeleitetes Bild und die einzelnen Ebenen der Pixelkarte neben den Polygoneigenschaften mit einbezogen. Folgende Regeln für eine Gebäudedetektierung wurden vorgegeben:

- Gebäudesegmente sind nicht größer als 6000 m<sup>2</sup>
- Das Längen/Breiten-Verhältnis von Haussegmenten ist nicht größer als das länglichste Haus im Datensatz
- Die Standardabweichung der Laplacewerte für Gebäudesegmente liegt in einem bestimmten Bereich
- In Wald- und Wasserflächen gibt es keine Gebäude

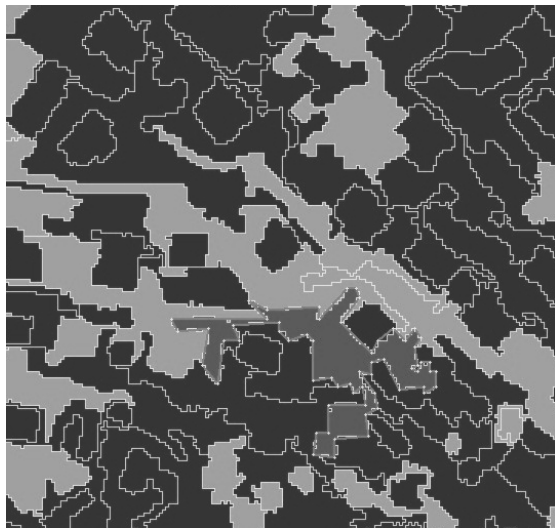
Durch das festgelegte Homogenitätskriterium (scale parameter) trifft es weitestgehend zu, dass Segmente mit einer Fläche größer als 6000 m<sup>2</sup> keine Gebäude repräsentieren. Das Längen/Breiten-Verhältnis schließt lange schmale Segmente aus, wie sie auf Feldern oder Straßen gefunden werden. Genauere Formmerkmale sind aufgrund der unregelmäßigen Objektgrenzen nicht allgemeingültig anwendbar. Die Standardabweichung der Laplacewerte für Gebäudesegmente können zur Identifikation von Objektarten genutzt werden. Glatte Flächen wie Wiesen haben einen sehr kleinen Wert (< 0.5) und stark texturierte Segmente wie Waldflächen einen sehr großen Wert (>10). Gebäude und ähnliche Objekte liegen dazwischen (>1 und < 10).

Tab.2 Klassifikationsstatistik

	Anzahl der Häuser	Anzahl der nicht klassifizierten Häuser (Fehler 1. Art)	Anzahl der klassifizierten Polygone (Fehler 2. Art)
Stadt	1630	77 (5%)	1114 (170%)
Land	820	50 (6%)	1960 (340%)

Wie in (Abb. 2a) zu sehen ist, werden weitaus mehr Polygone (siehe Tab.2) als gebäudebeinhaltend klassifiziert als tatsächlich vorhanden. Allgemeine Strategien zur Reduzierung von Fehlern zweiter Art (als Gebäudepolygone klassifizierte Nicht-Gebäudepolygone) konnten für eCognition noch nicht gefunden werden. Die Eigenschaften der Laserscannerdaten als auch teilweise die der möglichen Segmentierungsparameter sind Grund dafür, dass Gebäudepolygone keine markanten rechtwinkligen Polygonkanten haben. Somit können bestimmte Formmerkmale (Anzahl der Kanten, Verhältnis von Fläche zu Umfang etc.) nicht abgeleitet

werden. Ein anderer Ansatz über die Anzahl der Subobjekte, ermittelt mit dem Aspektbild, kann wegen der variierenden Segmentgröße nicht erwogen werden.



a)



b)

Abb. 2 a) Klassifiziertes Segmentbild und Segmentbild des Laserscannerdatensatzes (■ kein Gebäudepolygon, ■ ausgewähltes Gebäudepolygon der Kategorie unzureichend segmentiert, ■ Gebäudepolygon) b) Segmente mit untergelegtem Luftbild

## 5 Zusammenfassung

Mit dem Softwaresystem eCognition ergeben sich große Potentiale im Hinblick auf eine automatische Detektierung von Gebäuden. Die verwendeten Versionen (2.0, 2.1) bieten viele Möglichkeiten Informationen aus Daten abzuleiten. Die mit beiden Versionen segmentierten Laserscannerdatensätze ergaben unterschiedliche Segmentbildungen. Für die Version 2.0 wurde deshalb ein Sonderdatensatz generiert, der die Ergebnisse der Segmentierung verbesserte. (Der Laserscannerdatensatz gewichtet mit drei wurde zu dessen Sobelbild, gewichtet mit eins, addiert.)

Im Laufe der Untersuchungen wurden folgende Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge für eCognition gesammelt: In der Version 2.1 können leider keine Daten unterschiedlicher Rasterauflösung in ein Projekt einbezogen werden. Die Segmentierung erfolgt auch in der Version 2.1 nach dem Trial-and-Error Prinzip. Eine Segmentierungsebene unabhängig von schon vorhandenen Segmentierungsebenen in einem Projekt wäre wünschenswert. Für eine Optimierung der Laserscannerdatensegmentierung wären zusätzliche Formmerkmale (rechteckig – rund) oder Bedingungsabfragen vorstellbar. Denkbar ist auch ein Richtungskriterium. Customized Features sollten auch untereinander verwendbar sein. Die in der Version 2.1 vorhandenen Auswertemöglichkeiten von Segmenteigenschaften, den Merkmalsrechner eingeschlossen, bieten eine große Kapazität hinsichtlich GIS-orientierter Abfragen. Die eigentliche Klassifikation der Höhendatensätze in eCognition hat allerdings keinerlei Vor- oder Nachteile gegenüber einer Klassifikation in einer GIS Software wie z.B. ArcView. Jedoch bieten GIS Softwarepakete den Vorteil einzelne Segmente mit anderen Datensätzen zu verschneiden und diese dann zu extrahieren. Außerdem kann eine Klassifikation in eCognition nicht automatisiert (Batchbetrieb) werden.

Mit der vorliegenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass eCognition eine geeignete Methodik bietet um Gebäude in Flugzeuglaserscannerdaten zu detektieren. Das in HOFMANN (2002) beschriebene Vorgehen erreichte im städtischen als auch im ländlichen Untersu-

chungsgebiet mit einer Detektierungsrate der Gebäude von 99% ein zufriedenstellendes Ergebnis. Weiterhin ist es erstrebenswert, während der Klassifikation Fehler zweiter Art zu minimieren. Zusätzlich soll die als nächstes geplante Modellierung der detektierten Gebäude im Vorfeld prüfen, ob ein Fehler zweiter Art vorliegt.

## 7 Danksagung

Diese Studie wurde vom Schweizer Bundesamt für Landestopographie unterstützt. Die Autoren danken dem Schweizer Bundesamt für Landestopographie für die Bereitstellung der Flugzeuglaserscannerdaten, der Pixelkarte und der Orthophotos.

## 8 Literaturverzeichnis

- BRUNN, A., WEIDNER, U. 1997: Extracting buildings from digital surface models - IAPRS, Vol.32, Part 3-4W2
- DEFINIENS IMAGING 2002: eCognition User Guide  
<http://www.definiens-imaging.com/down/index.htm> (08.05.2002)
- FORLANI, G., NARDINOCCHI, C. 2001: Building detection and roof extraction in laser scanning data - IAPRS Vol.34
- GÜLCH, E. 2001: New features in semi-automatic building extraction - ASPRS annual conference, St.Louis, Canada, April 23-27
- HOFFMANN, A., VAN DER VEGT, J.W. 2001: New Sensor systems and new Classification Methods: Laser- and Digital Camera-data meet object-oriented strategies - GeoBIT/GIS 6: 18-23
- HOFFMANN, A., VAN DER VEGT, J.W., LEHMANN, F. 2000: Towards Automated Map Updating: Is It Feasible with New Digital Data Acquisition and Processing Techniques? - IAPRS Amsterdam, Vol.33
- HOFMANN, A.D. 2002: Knowledge-based building detection based on laser scanner data and topographic map information - ISPRS Commission III, Symposium 2002, Photogrammetric Computer Vision 2002, 9. - 13. September, Graz, Austria
- HUG C., WEHR, A. 1997: Detecting and identifying topographic objects in imaging laser altimeter data - IAPRS Vol. 32, Part3-4W2
- JANOTH, J., EISL, M., KLAUSHOFER, F., LUCKEL, W. 2002: Segmentbasierte Verfahren zur Veränderungsanalyse und Waldklassifizierung mit hochauflösenden Satellitendaten – Fernerkundung und GIS Neue Sensoren – innovative Methoden, Wichmann Verlag Heidelberg
- MAAS, H.G., VOSSELMAN, G. 1999: Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data - ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1999(54), pp.153-163
- NEUBERT, M., MEINEL, G. 2002: Segmentbasierte Auswertung von IKONOS-Daten – Anwendung der Bildanalyse-Software eCognition aus unterschiedliche Testgebiete - AGIT, Salzburg, Austria, pp.108-117
- PILZ, H., STROBL, J. 2002: Versiegelungsanalyse auf Basis digitaler Farbornthofotos mittels objektorientierter Bildverarbeitung – Fernerkundung und GIS Neue Sensoren – innovative Methoden, Wichmann Verlag Heidelberg
- STILLA, U., SOERGEL, U., THOENNESSEN, U., MICHAELSEN, E., 2001: Segmentation of LIDAR and INSAR elevation data for building reconstruction - Third International Workshop on

Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images, June 10-15,  
Ascona, Switzerland

VOSSELMAN, G., SUVEG, I., 2001: Map based building reconstruction from laser data and  
images - Third International Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects  
from Aerial and Space Images, June 10-15, Ascona, Switzerland