

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 96 (1998)

Heft: 9

Artikel: CyberCity Modeler : ein System zur halbautomatischen Generierung von 3D-Stadtmodellen

Autor: Grün, Armin / Steidler, Franz / Wang, Xinhua

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-235477>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 20.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

CyberCity Modeler

ein System zur halbautomatischen Generierung von 3D-Stadtmodellen

3D-Stadtmodelle nehmen im Geodatenmarkt eine immer grössere Bedeutung ein. Vor allem in den Bereichen Stadt- und Regionalplanung, Mobilfunk und Tourismus ist ein entsprechender Bedarf geweckt worden. An der ETH Zürich wurde mit dem CyberCity Modeler (CCM) eine Methode und die dazugehörige Software entwickelt, die es gestattet, auf photogrammetrischem Wege 3D-Stadtmodelle halbautomatisch zu generieren. Mit CCM können 3D-Stadtlandschaften wirtschaftlich, genau und mit beliebigem Detaillierungsgrad erfasst werden. Im vorliegenden Artikel wird die Methode beschrieben und Ergebnisse vorgestellt.

Sur le marché des données géographiques les modèles de ville tridimensionnels prennent une importance toujours plus grande. On a suscité des besoins correspondants notamment dans les domaines de l'aménagement urbain et régional, de la radiotéléphonie mobile et du tourisme. L'EPF Zürich a développé le Cyber City Modeler (CCM), une méthode permettant, grâce à son logiciel, de générer de façon semi-automatique des modèles de ville tridimensionnels par voie photogrammétrique. Avec le CCM, des paysages de ville tridimensionnels peuvent être saisis de façon économique et précise et avec le degré de détails voulu. L'article ci-après décrit la méthode et présente les résultats.

I modelli tridimensionali delle città acquisiscono una portata sempre maggiore nel mercato dei dati geografici. Un vero e proprio fabbisogno è stato registrato nei settori della pianificazione urbana e regionale, della telefonia mobile e del turismo. Al Politecnico di Zurigo, con l'ausilio del CyberCityModeler (CCM) si è sviluppata una metodologia, con il relativo software, che permette di usare la fotogrammetria per la generazione semiautomatica di modelli 3D delle città. Con il CCM si perviene a paesaggi urbani tridimensionali in modo economico, preciso e con il grado di dettaglio richiesto. In questo articolo si descrive il metodo e i risultati ottenuti.

A. Grün, F. Steidler, X. Wang

1. Einführung

In stark zunehmendem Umfang verlangen viele Disziplinen wie Stadt- und Regionalplanung, Telekommunikation, Umweltwissenschaften, Versicherungswesen, Tourismusindustrie, Denkmalschutz, etc. nach 3D-Daten städtischer und ländlicher Bereiche in digitaler und strukturierter Form. Die Planung und Entwicklung von komplexen urbanen Projekten erfordert die Berücksichtigung vieler Faktoren wie die historische Entwicklung, Gebäude, Topographie, Vegetation, Landnutzung, Verkehrswege, aber auch Informationen über die politischen, sozialen, gesetzlichen und ökonomischen Verhält-

nisse. Eine Grundvoraussetzung für Stadtplanungsprojekte ist ein weitgehend vollständiges und genaues 3D-Stadtmodell der urbanen und periurbanen Gebiete für Simulation, Analyse und Entwurf, das möglichst alle Informationen enthält. Das System dient Architekten, Stadt- und Verkehrsplanern zur Visualisierung ihrer Objekte in der natürlichen Umgebung und zur Berechnung von Immissionen und damit zur Verhinderung von Einsparungen. Weiterhin hilft es Tourismusmanagern zur Darstellung von Sehenswürdigkeiten, Restaurants und Hotels. Energieversorger benötigen es zur optimalen Ausrichtung von Solarzellenanlagen, Mobilfunkbetreiber zur Bestimmung von Antennenstandorten, Versicherungen zur Beurteilung und Simulation von Risiken bei gefährli-

chen Transporten oder Naturkatastrophen.

Die erforderlichen Daten müssen sehr schnell flächendeckend gewonnen werden können. Viele der Daten sind implizit bereits vorhanden und können entsprechend eingebunden werden. Dazu gehören die Grundrissdaten von Gebäuden und anderen Objekten aus Karten oder digitalen Datenbeständen sowie die Höhendaten aus dem DTM.

Der Anwender kann wie folgt vorgehen:

1. Erheben des bestehenden Datenbestands
2. Festlegen der erforderlichen Auflösung und Genauigkeiten für Teilgebiete
3. Festlegen der neu zu erfassenden Gebiete
4. Festlegen der Methoden der Datenerfassung
5. Datenerfassung
6. Nachführen im Falle höherer Genauigkeitsanforderungen und im Falle neuer Objekte

Sind beispielsweise die Grundrissdaten aus der Grundbuchvermessung vorhanden, kann die Höhe der Gebäude geschätzt werden. Hierzu gibt es verschiedene Ansätze. Die geschätzte Anzahl der Geschosse wird mit einer ungefähren Geschosshöhe multipliziert und das Resultat als Gebäudehöhe angenommen. Es kann weiterhin die Nachbarschaft berücksichtigt werden. So werden in Wohngebieten die Gebäudehöhen in etwa gleich gross sein. Auf Grund solcher Hypothesen können für Gebiete, an welche keine grossen Genauigkeitsanforderungen gestellt werden, Blockmodelle generiert werden, welche auf die vektorisierten Gebäudegrundrisse aufgesetzt werden.

Die Genauigkeit wird durch das Verfahren des Laserscannings gesteigert. Laserscanning allein bringt eine Lagegenauigkeit von ca. 1 m und eine Höhengenaueigkeit von besser als 20 cm. Das Ergebnis des Laserscannings ist ein Oberflächenmodell, welches eine Umhüllung der Gebäude, der Vegetation und anderer Erhebungen darstellt. Diese müssen weiter interpretiert werden, was durch eine Kombination mit bestehenden Grundrissdaten möglich ist.

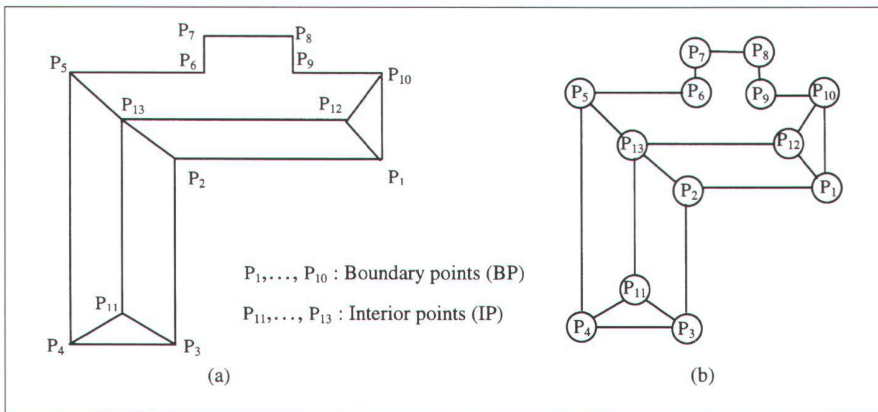


Abb. 1: Begrenzungs- und innere Punkte.

Die Photogrammetrie erlaubt eine weitere Steigerung der Genauigkeit und vor allem des Detaillierungsgrads. Sie liefert zudem eine hochauflösende natürliche Bildtextur zur photorealistischen Wiedergabe der Stadtmodelle.

Im folgenden wird die Generierung von 3D-Stadtmodellen mit der Photogrammetrie erklärt und aufgezeigt, wie die Ergebnisse weiterverwendet werden können.

An der ETH Zürich wurde am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie eine Software (CyberCity Modeler) zur effizienten Datenerfassung und Datenstrukturierung entwickelt. Sie erlaubt, die erwünschten Daten in 3D-Form, flächendeckend, aktuell, geometrisch genau und schnell zu erheben. Mit modernen Auswertegeräten der analytischen und digitalen Photogrammetrie erfolgt die Datenerfassung halbautomatisch. CyberCity Modeler (CCM) ist ein Softwarepaket zur Strukturierung von 3D-Objekten, welche durch planare Oberflächen begrenzt sind. Es verarbeitet photogrammetrisch erfasste Punktwolken. Der Operateur misst die wesentlichen Punkte des Gebäudedaches im photogrammetrischen Stereomodell. Die Software sorgt für die automatische Generierung der Dachflächen. Traufpunkte werden auf das Digitale Geländemodell projiziert und vervollständigen das Dach zum ganzen Gebäude. Bäume und Sträucher werden im Stereomodell durch einen zentralen Wipfelpunkt markiert und durch CAD-Objekte dargestellt. Das Programm erzeugt eine eigene Daten-

struktur. Konvertierungsmodule zu üblichen CAD- und Visualisierungsprogrammen sind vorhanden. Das Verfahren erlaubt bezüglich Datenerhebung, Modellierung und Repräsentation einen beliebigen Detaillierungsgrad. Nach diesem richtet sich der Aufwand des Operateurs. Im folgenden Kapitel wird der gesamte Datenfluss des CCM beschrieben. In Kapitel 3 werden praktische Beispiele erläutert.

2. Datenfluss des CCM

Um eine 3D-Beschreibung von Objekten aus Luftbildern zu erhalten, werden zwei Hauptkomponenten benötigt: Photogrammetrische Messung und automatische Strukturierung. Beim CCM erfolgt

die Identifikation der Objekte und deren Messung manuell durch den Operateur an einem Analytischen Plotter oder einer digitalen Photogrammetriestation. Bei der Datenerfassung werden die Einzelpunkte des Objekts nach zwei Typen entsprechend ihrer Funktion und Struktur kodiert: Dachbegrenzungs- und innere Punkte (Abb. 1). Die Begrenzungs- und innere Punkte werden als geschlossene Polygone erfasst, die inneren Punkte können in einer beliebigen Reihenfolge gemessen werden. Es liegt in der Verantwortung des Operateurs, den Detaillierungsgrad je nach Aufgabenstellung selbst zu bestimmen. So können für jede Objektart unterschiedliche Detaillierungsniveaus in der Erfassung gewählt werden, je nachdem ob es sich um Gebäude, Strassen, Wasserwege, Bäume oder andere Objekte handelt.

CCM ist ein automatischer Topologiegenerator für 3D-Objekte. Die Hauptkomponenten sind in Abbildung 2 dargestellt. Der erste Schritt nach Messung der Punktwolken ist das Preprocessing, welches die Reihenfolge der Messung kontrolliert, redundante Punkte aufdeckt und eliminiert und die Bestimmung der möglichen Gruppen von Flächen aufgrund von Nachbarschaftsanalysen durchführt. Der nächste Schritt ist die Bildung der Oberfläche des 3D-Objekts, beispielsweise wird be-

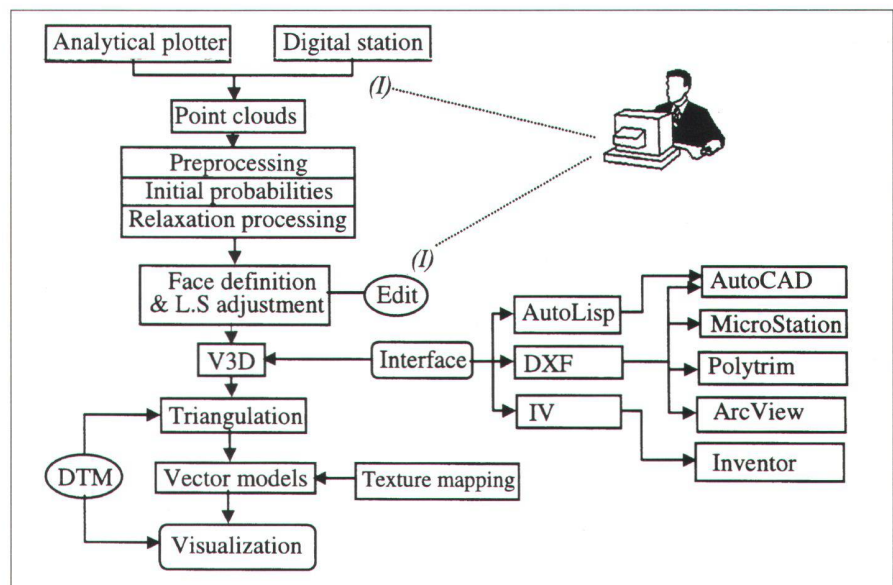


Abb. 2: Komponenten des CyberCity Modelers.

stimmt, aus wieviel Einzelflächen das Objekt besteht, welche Punkte die Umrisse definieren und welche räumlichen Relationen die Einzelflächen bilden. Dies geschieht durch den sogenannten Consistent Labelling Algorithmus, welcher in Grün, Wang, 1998 detailliert beschrieben ist. Als Ergebnis des Consistent Labelling liefert der CCM sämtliche Oberflächenbeschreibungen. Es schliesst sich eine Simultanausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate an, in welcher die individuellen Flächen optimal an die gemessenen Punkte angepasst werden. Die Ausgleichung schliesst auch Bedingungen für Rechtwinkligkeit von Linienpaaren ein. Letztlich erhält man eine Beschreibung des 3D-Objekts, welche in einer selbstentwickelten Datenstruktur (V3D) abgelegt wird. Für eine später folgende Visualisierung werden die Daten in einer TIN (triangular irregular network) Struktur wiedergegeben. Obwohl die Prozedur automatisch abläuft, kann der Operateur dennoch interaktiv eingreifen. Der algorithmische Ablauf ist im einzelnen in Grün, Wang, 1998 beschrieben.

V3D besitzt eine Vektordatenstruktur, welche das Facettenmodell der Objekte abbildet. Das Grundelement in dieser Struktur ist der Punkt. Die Punkte bilden die Liniensegmente und die Flächen. Durch Hinzufügen von Attributen werden Polylines oder Objekte einer Entitätsklasse zugeordnet.

Zusätzlich verfügt der CCM über die Fähigkeit, Bilder mit natürlicher oder künstlicher Textur auf das 3-D Objekt abzubilden. Diese Texturen werden der entsprechenden Fläche als Attribut beigelegt. Das DTM ist in einer eigenen Entitätsklasse in V3D abgelegt. Mit Hilfe von Schnittstellenprogrammen können ver-

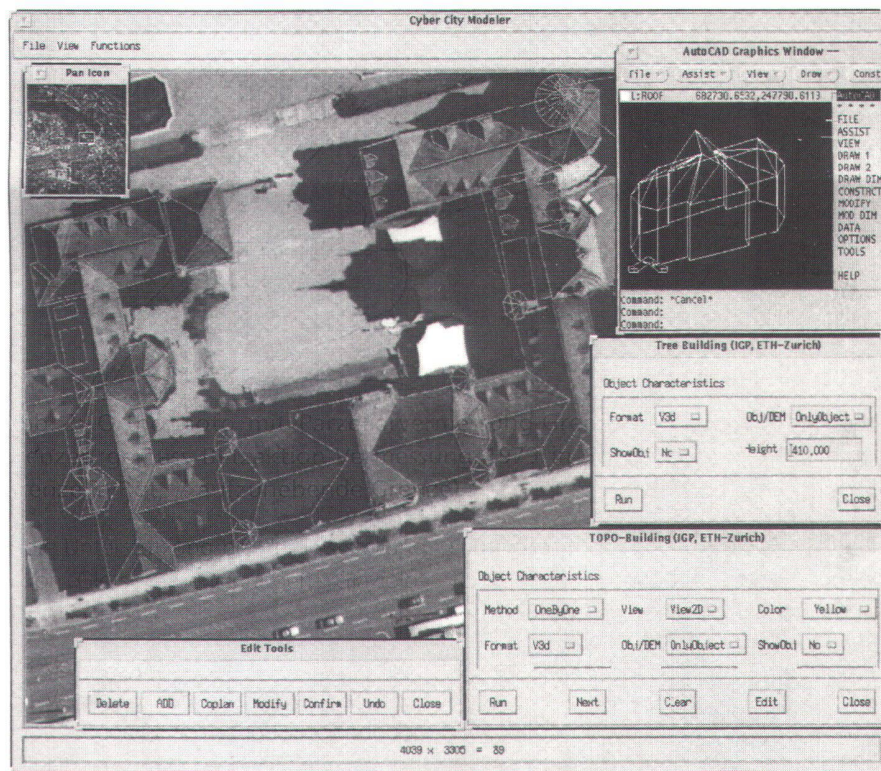


Abb. 3: Benutzeroberfläche CyberCity Modeler.

schiedene Datenformate erzeugt werden wie IV, VRML, DXF und AutoLisp, welche von AutoCAD, Microstation, Polytrim, ArcView 3D-Analyst und VRML-Browsern lesbar sind.

CCM ist auf UNIX-Workstations (Sun SPARC) unter X-Windows und OSF/Motif implementiert. Eine entsprechende NT-Version ist vorgesehen.

Abbildung 3 zeigt die Benutzeroberfläche des CCM. CCM kann optional automatisch oder interaktiv ablaufen. Im interaktiven Modus können die 3D-Objekte mit Hilfe von 2D- oder 3D-Ansichten editiert werden, falls Fehler bei der Datenerfassung festgestellt wurden. In der 2D-Sicht projiziert CCM die Vektordaten auf das

Luftbild zur Qualitätskontrolle. Im 3D-Modus wird das Objekt als Drahtmodell abgebildet.

CCM ist ein allgemeiner Topologiegenerator. Er kann ausser zur Rekonstruktion von Gebäuden auch für andere Objekte wie Wasserwege, Brücken, Bäume, Strassen eingesetzt werden. Darüber hinaus erlaubt CCM die Verbindung der 3D-Objekte mit einem 2.5D-DTM.

3. Praktische Beispiele und Visualisierung

Der CCM wurde in mehreren Projekten (Zürich Hauptbahnhof, Dietikon, Regensdorf) für den produktiven Einsatz erprobt. Die Angaben zu den Projekten sind in der Tabelle 1 wiedergegeben. «Automatisch strukturiert» bedeutet die Anzahl von Dacheinheiten, welche CCM durch den automatischen Prozess erstellte; «interaktiv strukturiert» bezieht sich auf die Anzahl Dacheinheiten, die manuell nachbearbeitet werden mussten. Somit ist die Erfolgsrate bei CCM bei über 95%. Die verbliebenen Dächer können durch kon-

| Project | Total No. of roof units | Structured Automatical | Structured interactively | Failures | CPU TIME (sec) |
|---------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|----------|----------------|
| Zurich Hauptbahnhof | 1733 | 1656 | 76 | 1 | 547 |
| Dietikon | 298 | 290 | 8 | 0 | 56 |
| Regensdorf | 925 | 894 | 30 | 1 | 165 |
| Total | 2956 | 2840 | 114 | 2 | 768 |

Tab. 1: Angaben zu Projekten.

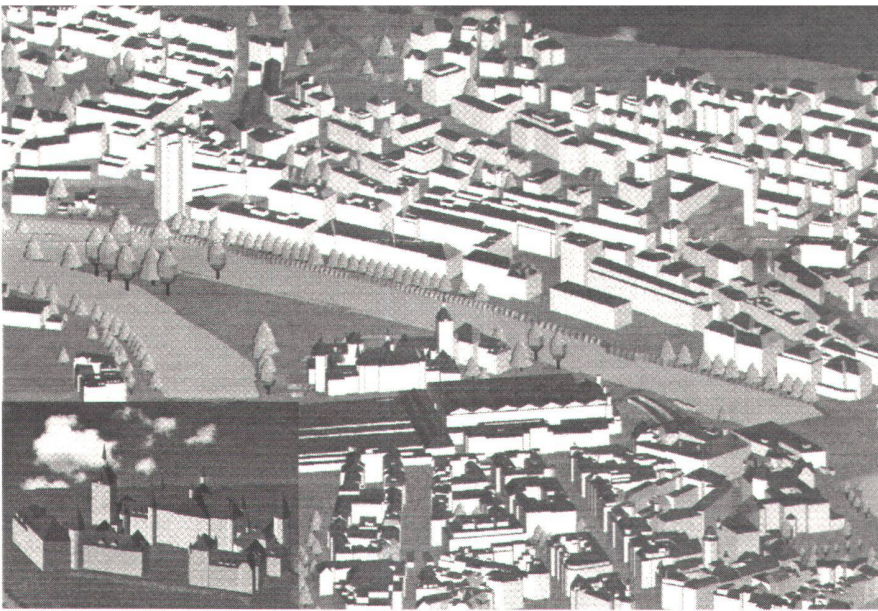


Abb. 4: Beispiel Hauptbahnhof Zürich (im Auftrag des Vermessungsamts der Stadt Zürich); linke untere Ecke: Ausschnitt Landesmuseum.

ventionelle Editierwerkzeuge rekonstruiert werden. Die Hauptfaktoren für die Performance sind der menschliche Operateur und der Detaillierungsgrad. Der Operateur muss sich mit den Techniken der Datenerfassung an Analytischen Plottern bzw. Digitalen Photogrammetriestationen auskennen. Ein erfahrener Operateur misst pro Tag über 500 Dächer.

Zur Visualisierung können alle Softwarepakete verwendet werden, die VRML, IV oder DXF-Formate lesen können. Hier sind zu nennen: ArcView-3-D Analyst, AutoCAD, Cosmo-Player, Inventor, Microstation und Polytrim.

Abbildung 4 zeigt das mit dem CCM generierte Stadtmodell um den Hauptbahnhof Zürich. Es enthält Gebäude, Gewässer, Bäume und das DTM. Die Abbildung 5 zeigt Regensdorf.

Zur realistischeren Darstellung können die Vektordaten mit den Rasterdaten des Orthophotos verknüpft werden. Ferner können Fassaden mit Videokameras aufgenommen und auf die Wände der Gebäude transformiert werden. Beispiele dafür finden sich u.a. in Grün, 1996.

4. Schlussfolgerungen

Das Softwarepaket CCM (CyberCity Modeler) ist zur halbautomatischen Generierung von Stadtmodellen sehr gut geeignet. Abhängig von der Komplexität der Szene, dem gewünschten Detailreichtum und der Erfahrung des Operateurs lassen sich mehrere hundert Dacheinheiten pro Tag in hoher Auflösung und Genauigkeit erfassen. Die Interfaces zu gängigen CAD-

und Visualisierungsprogrammen stehen zur Verfügung.

Weiter stellt sich im Rahmen des Arbeitsprozesses die Aufgabe der Nachführung der Daten bei Veränderungen. Neubauten und Umbauten sind schnell zu berücksichtigen. Es lohnt sich nicht, jeweils Neubefliegungen für Laserscanning und/oder Photogrammetrie durchzuführen. Hier sollte die Verwaltung beim Eingang von Bauanträgen Änderungen direkt über CAD-Funktionalität an das Stadtmodell weitergeben. Bei grösseren Objekten liefert der Architekt bereits CAD-Objekte mit seinem Bauantrag.

Die Verknüpfung mit einem GIS kann über die Visualisierungssoftware wie z.B. ArcView 3D-Analyst erfolgen. Die Verbindung wird über die Objekte geschaffen, deren Grundrisskoordinaten abgefragt werden können. Ueber den räumlichen Zugriff lassen sich die Attribute aus der GIS-Datenbank bestimmen und erlauben so auch aus der Perspektivdarstellung heraus direkte kombinierte Raum- und Sachdatenanalysen. Daneben ist ein eigenes 3D-Datenmodell in Vorbereitung, welches auf einem Datenbankmanagementsystem realisiert wird und Analysen mit 3D-Daten erlaubt.

Literatur:

Grün, A., 1996: Generierung und Visualisierung von 3D-Stadtmodellen. Invited Paper, Proceedings der SOGI/GISWISS Tagung, 16.–17. April, Morges, Schweiz.

Grün, A., Wang, X., 1998: CC-Modeler: A topology generator for 3-D city models. Presented Paper ISPRS Commission IV Symposium on «GIS – between Vision and Application», September 7–10, Stuttgart.

Prof. Dr.-Ing. Armin Grün
Xinhua Wang
ETH Zürich
Hönggerberg
CH-8093 Zürich
e-mail: agruen@geod.ethz.ch

Dr.-Ing. Franz Steidler
born & partner AG
Hohle Gasse 10
CH-5454 Bellikon
e-mail: born@bluewin.ch



Abb. 5: Beispiel Regensdorf.