

Auf dem Weg zur virtuellen Stadt (Cyber City) - Photogrammetrische Datenerfassung für 3-D Stadtmodelle

Th. Kersten, L. Cuche
Swissphoto Vermessung AG
Dorfstrasse 53, CH - 8105 Regensdorf-Watt
Telefon +41 1 871 22 22, Fax +41 1 871 22 00
e-mail: [thomas.kersten, laurence.cuche]@swissphoto.ch
<http://www.swissphoto.ch>

Zusammenfassung

Verschiedene Disziplinen wie Stadtplanung, Telekommunikation, Tourismus und Umweltschutz u. v. m. haben einen zunehmenden Bedarf an 3-D Stadtlandschaften, um mit diesen komplexen Daten Planungen, Analysen, Visualisierungen und Simulationen in unterschiedlichen Anwendungen durchführen zu können. Um diesen steigenden Bedarf an solchen Geodaten befriedigen zu können, müssen die Stadtmodelle schnell, genau, detailliert und wirtschaftlich erstellt werden können.

In diesem Beitrag stellen wir eine effiziente Methode zur halbautomatischen Generierung von 3-D Stadtmodellen vor, die auf der photogrammetrischen Datenerfassung und einer anschliessenden automatischen Datenstrukturierung beruht. Mit dieser Methode können 3-D Stadtmodelle mit hohen Qualitätsanforderungen (Genauigkeit und Detaillierungsgrad) erstellt werden. Der Produktionsablauf von der Datenerfassung bis zur Visualisierung der Stadtmodelle wird anhand von praktischen Beispielen vorgestellt, um das Potential dieser Methode zu demonstrieren.

1. Einleitung

Durch die rasante Entwicklung in der Computertechnologie und damit auch in der graphischen Datenverarbeitung entstehen neue Formen der Projekt- und Aufgabenbearbeitung in der öffentlichen Verwaltung und in der privaten Wirtschaft. Das führt in zunehmendem Masse zu einem Bedarf an digitalen topographischen Informationen, die als Basisdaten für digitale raumbezogene thematische Bearbeitungen unverzichtbar geworden sind. In diesem Geodatenmarkt spielen auch 3-D Stadtmodelle eine immer grössere Rolle, denn viele Disziplinen haben einen steigenden Bedarf an genauen, einfach und schnell zu erfassenden, günstigen und grossmasstäbigen 3-D Informationen von urbanen Gebieten für unterschiedliche Anwendungen.

In folgenden Anwendungsbereichen können digitale 3-D Stadtmodelle eingesetzt werden:

- ◆ Stadtvermessung (Aufbau eines 3-D Stadt GIS, siehe Oprecht und Reimers 1998)
- ◆ Stadtplanung und -entwicklung (computerunterstützter Städtebau, siehe Bartels et al. 1996)
- ◆ Bauprojektierung (Planung, Gestaltung, Baubewilligung, Architekturwettbewerbe)
- ◆ Umweltschutz (Analyse der Immissionsausbreitung wie z.B. bei Verkehrslärm, Luftschadstoff, Mikroklima, etc.)
- ◆ Versorgung (Solarzellenausrichtung auf Dächern für die Energieversorgung)
- ◆ Telekommunikation (Simulation der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen im urbanen Mobilfunknetz für die Bestimmung von Antennenstandorten)
- ◆ Immobilienbranche (Gebäudeinformationssysteme)

- ◆ Versicherungen (Simulation von Risiken bei gefährlichen Transporten oder Naturkatastrophen)
- ◆ Tourismus (Informationssysteme mit attraktiver 3-D Visualisierung wie z. B. die virtuelle Durchwanderung der Stadt)
- ◆ Computerspielbranche (Erstellung von realitätsnahen Computerspielen)
- ◆ Fahrschulen (Simulation von Verkehrssituationen)
- ◆ Notruf (Aufbau von Gebäudeinformationssystemen für Polizei, Notarzt und Feuerwehr)

Heute stehen unterschiedliche Methoden zur Erfassung von 3-D Stadtmodellen in der Praxis zur Verfügung, die sich im Automatisierungsgrad und damit auch in der Qualität der erfassten Daten (Detail und Genauigkeit) unterscheiden. Im folgenden werden exemplarisch drei Methoden vorgestellt:

- (1) Mit Hilfe der kartographischen Mustererkennung lassen sich zum Beispiel aus dem Schwarzblatt der Pixelkarte 1: 25'000 von der Landestopographie (Stengele 1995, Frischknecht und Carosio 1997, Zanini 1998) oder aus dem Übersichtsplan 1: 10'000 die Gebäudegrundrisse vollautomatisch extrahieren. Die Gebäudehöhen können aus statistischen Angaben abgeschätzt werden. Die Lagegenauigkeit ist durch die Kartengenauigkeit und durch die kartographische Gestaltung (z. B. Verdrängung durch Generalisierung) bestimmt. Mit dieser Methode können Stadtmodelle in Form von Bauklötzchenmodellen für grosse Flächen in einer geringen Genauigkeit und Auflösung kostengünstig erfasst werden.
- (2) Durch die photogrammetrische Stereoauswertung am analytischen Plotter oder an einer digitalen photogrammetrischen Workstation (DPW) lassen sich 3-D Stadtmodelle je nach Bildmassstab der verwendeten Luftbilder mit einer hohen Auflösung (Details) und Genauigkeit erstellen. Die Dachlandschaften werden dabei manuell gemessen, doch die Datenstrukturierung kann automatisch erfolgen. Für DPW's gibt es heute schon Softwareentwicklungen, mit denen die Messungen automatisch oder automatisiert durchgeführt werden können (Brunn et al. 1998).
- (3) Durch die Fusion von Laserscanning-Daten und Grundbuchdaten können die 3-D Gebäude mit einer speziell entwickelten Software der Universität Stuttgart automatisch generiert werden (Haala et al. 1998). Dabei kann durch die hohe Auflösung des digitalen Oberflächenmodells vom Laserscanning eine Auflösung und eine Genauigkeit für die 3-D Stadtmodelle erreicht werden, die annähernd der Qualität der photogrammetrischen Stereoauswertung entsprechen kann. Allerdings empfiehlt es sich, für die Qualitätskontrolle der generierten 3-D Stadtmodelle digitale Orthophotos einzusetzen. Ausserdem besteht der Nachteil dieser Methode darin, dass gerade in der Schweiz aktuelle Grundbuchdaten schwer und teuer zu beschaffen sind.

Vielfältige Ansätze zur automatischen Gebäudeerfassung aus Luftbildern sind zur Zeit bei verschiedenen Universitäten in der Entwicklung. Momentan können aber nur durch halbautomatische Methoden 3-D Stadtmodelle mit hohen Anforderungen effizient generiert werden.

In unserem Beitrag stellen wir eine effiziente Methode zur halbautomatischen Generierung von 3-D Stadtmodellen vor, die auf der photogrammetrischen Datenerfassung und einer anschliessenden automatischen Datenstrukturierung beruht. Im Kapitel 2 werden hauptsächlich die Arbeitsschritte bei der Datenerfassung vorgestellt, während im Kapitel 3 die Datenstrukturierung mit dem Softwarepaket CCM (Cyber City Modeler) kurz beschrieben wird. Die Verarbeitung der generierten 3-D Stadtmodelle für Visualisierungszwecke wird im Kapitel 4 erläutert und praktische Beispiele von generierten 3-D Stadtmodellen werden im Kapitel 5 vorgestellt. Abschliessend werden die Vor- und Nachteile dieser Methode beurteilt.

2. Photogrammetrische Datenerfassung

Für die Erstellung von 3-D Stadtmodellen aus Luftbildern sind die wichtigsten Arbeitsschritte die manuellen photogrammetrischen Messungen durch den Operateur und die automatische Strukturierung der gemessenen Daten durch den Computer. Der vollständige Datenfluss von der Datenerfassung bis zur Visualisierung der 3-D Stadtmodelle bei Swissphoto Vermessung AG wird im folgenden kurz vorgestellt:

- (1) Datenerfassung der Dachlandschaften (DL) und des digitalen Terrainmodells (DTM) am analytischen Plotter Leica SD2000/Kern DSR14 als Stereoauswertung mit Microstation/Pro600
- (2) Datenausgabe in DGN-Format
- (3) Formatumwandlung DL von DGN in BC2-Format
- (4) Formatumwandlung von BC2 in das Eingabeformat für CCM mit Swissphoto Interface
- (5) Erstellung eines binären DTM-Files (Dreiecksvermaschung) mit dem Programm DTMZ
- (6) Datenstrukturierung und Verschneidung DTM mit DL im Programm CyberCity Modeler (CCM)
- (7) Datenausgabe in DXF oder Autolisp-Format
- (8) Formatumwandlung von DXF in DGN
- (9) Eingabe in Visualisierungssoftware Microstation Model View
- (10) Erstellung von perspektivischen Ansichten und Animationen (Bildsequenzen)

Die Abbildung 1 zeigt den Arbeitsablauf und den Datenfluss bei der Generierung von 3-D Stadtmodellen mit der Software CyberCity Modeler.

Bei der Erfassung der Dachlandschaften werden die wesentlichen Einzelpunkte des Objektes nach verschiedenen Typen entsprechend ihrer Funktion und Struktur kodiert: Gebäudebegrenzungspunkte, Gebäudeinnenpunkte und Überstände/Anbauten (siehe Abb. 2). Ausserdem werden die Wipfelpunkte der Bäume gemessen und entsprechend ihrer Art (Laub- oder Nadelwald) kodiert. Zusätzlich wird das DTM in Form von Bruchkanten und Einzelpunkten gemessen. Der Detaillierungsgrad hängt bei der Auswertung von dem Bildmassstab des verfügbaren Luftbildmaterials und von der Aufgabenstellung bzw. Anwendung ab.

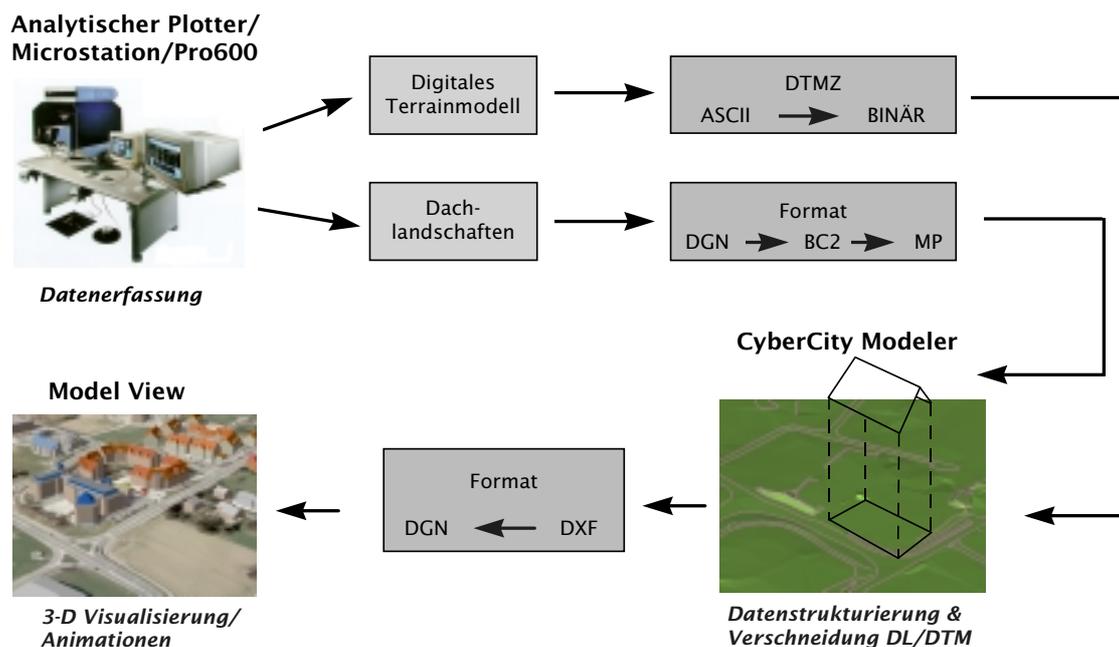


Abb 1: Arbeitsablauf und Datenfluss zur Generierung von 3-D Stadtmodellen mit der Software CyberCity Modeler

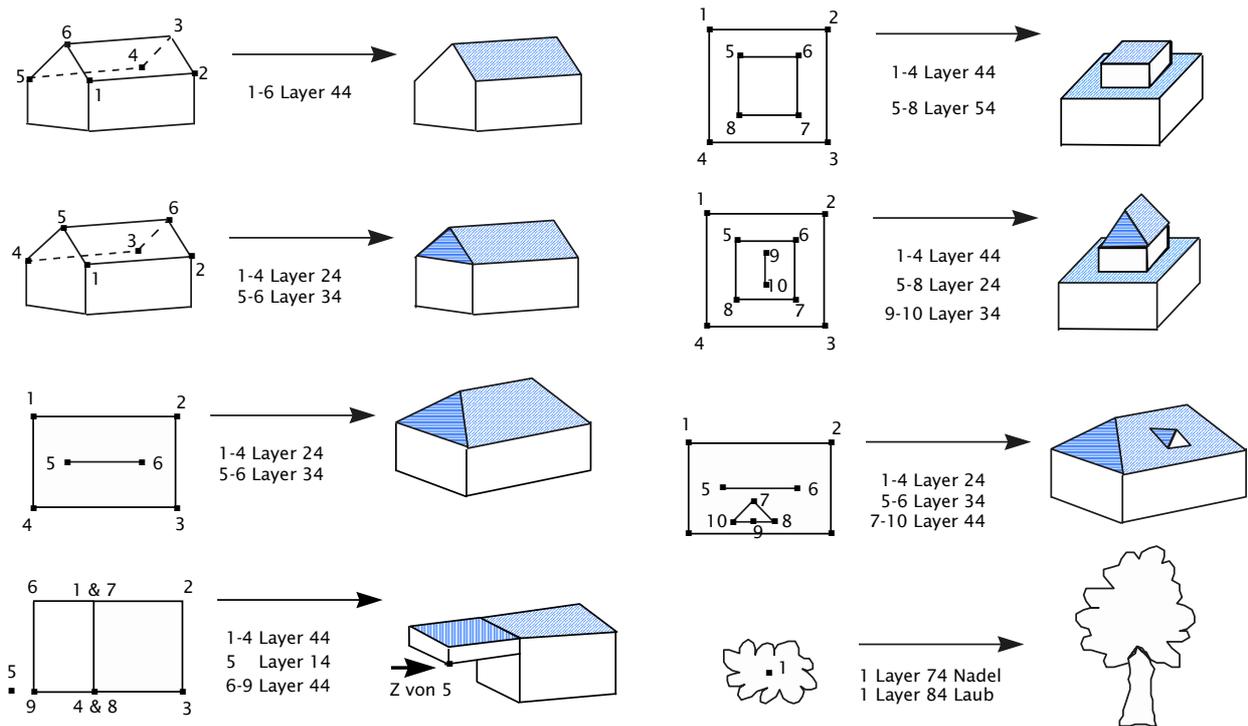


Abb. 2: Objektkodierung für CCM bei der Erfassung der Dachlandschaften

Bei der Datenerfassung am analytischen Plotter sind ausserdem folgende Messvorschriften für die spätere Datenstrukturierung mit CCM zu beachten:

- ◆ Der Dachrand muss als geschlossene Polylinie erfasst werden.
- ◆ Dachgiebelpunkte können als Einzelpunkte in beliebiger Reihenfolge gemessen werden.
- ◆ Dachgiebelpunkte müssen gleich nach den Dachtraufpunkten gemessen werden.
- ◆ Ein 3-D Punkt darf innerhalb eines Gebäudes (Dachrand und -giebel) nur einmal vorkommen.
- ◆ Die Kodierung der gemessenen Punkte in verschiedene Layer dient zur Objekttrennung. Grosse Gebäudekomplexe müssen in kleinere verschiedene Objekte unterteilt werden.
- ◆ Bei der nachfolgenden Messung von Dächern ohne Dachgiebel muss eine unterschiedliche Kodierung der gemessenen Punkte erfolgen, um eine spätere Trennung der Objekte zu gewährleisten.
- ◆ Bei einem Vordach wird (wenn möglich) die untere Höhe des Daches separat kodiert gemessen.

3. Datenstrukturierung mit CyberCity Modeler

Die Strukturierung der gemessenen Daten (Punktwolke der Dachlandschaften und Bäume) und deren Verschneidung mit dem digitalen Terrainmodell erfolgt mit dem Programm CyberCity Modeler (CCM). Die Software wurde am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich entwickelt und erfüllt folgende wichtige Funktionen:

- (1) Automatische Strukturierung der gemessenen 3-D Objekte
- (2) Automatische Generierung der Dachflächen
- (3) Automatische Generierung von Gebäuden durch Projektion der Traufpunkte auf das digitale Terrainmodell

Als Eingabedaten für CCM stehen die erfassten 3-D Objekte im entsprechend umgewandelten CCM-Format und ein binäres DTM-File zur Verfügung. Das binäres DTM-File wird mit dem

Programm DTMZ vom IGP aus einem ASCII-File erzeugt. Obwohl die oben aufgeführte Prozedur der Strukturierung und Verschneidung automatisch abläuft, kann der Operateur dennoch interaktiv durch die Funktion STEP eingreifen. Besonders bei der Bereinigung von Messfehlern oder von falschen Zuordnungen unterstützt der interaktive Modus die Editierung der 3-D Objekte am Bildschirm mit Hilfe von 2-D und 3-D Ansichten (siehe Abb. 3). Während in der 2-D Ansicht die Vektordaten zur Qualitätskontrolle auf ein (eventuell vorhandenes) digitales Luftbild oder Orthophoto projiziert werden können, wird das Objekt im 3-D Modus als Drahtmodell dargestellt. Für eine genauere Fehleranalyse können die Drahtmodelle durch verschiedene Funktionstasten gedreht werden.

Mit Hilfe von Schnittstellenprogrammen können verschiedene Datenformate erzeugt werden, die mit unterschiedlicher Visualisierungssoftware weiterverarbeitet werden können. CCM ist in der Programmiersprache C geschrieben und läuft unter UNIX auf SUN und Silikon Graphics Arbeitsstationen. Eine detaillierte Beschreibung der Software ist in Grün und Wang (1998) und Grün et al. (1998) zu finden.



Abb. 3: Interface der CCM-Software für die Dateneditierung. (Quelle: www.geod.ethz.ch/po2/projects/3DGIS/ccm_interface.html)

4. Visualisierung

Für die 3-D Visualisierung und die Erstellung von Videoanimationen von 3-D Stadtmodellen stehen eine Reihe von Programmen wie z.B. ArcView 3-D Analyst (UNIX und NT), AutoCAD (UNIX und NT), Inventor (UNIX), 3-D Studio (NT), Polytrim (UNIX) und Microstation Model View (NT). Nur ganz wenige Programme sind aufgrund der grossen Datenmengen (z.B. 3-D Stadtmodell mit Orthophoto) und der dafür heute immer noch geringen Rechnerleistungen in der Lage die entsprechenden Datenmengen in Echtzeit zu verarbeiten, um den Benutzer eine Navigation in

Echtzeit durch das 3-D Stadtmodell zu ermöglichen. So werden deshalb meistens die Bildsequenzen für die zu erstellenden Videoanimationen durch rechenintensiven Berechnungen aus vordefinierten Kamerapositionen zusammengestellt.

Bei der Swissphoto Vermessung AG wird z. Z. für die Erstellung von perspektivischen Ansichten und Animationen (Fly Through) die Software Microstation Model View eingesetzt. Folgende Daten werden in diesem Programm verarbeitet: Digitales Terrainmodell (DTM) in DGN-Format, digitales Orthophoto (DOP) in TIFF und das 3-D Stadtmodell in DGN. Das DTM und das DOP müssen dabei die exakt gleiche Georeferenz aufweisen. Vor der eigentlichen Dateneingabe muss mit dem DTM eine Dreiecksvermaschung im Programm SiteWorks oder INROADS berechnet werden. Anschliessend werden das DTM und das 3-D Stadtmodell zu einem File verschmolzen. Vor der Berechnung einzelner perspektivischer Ansichten oder einer gesamten Bildsequenz wird die Geometrie durch das DTM definiert und eine Materialzuweisung (DOP auf das DTM, vorhandene Fassadenphotos auf die entsprechenden Gebäudeflächen) durchgeführt. Nach der Festlegung einer virtuellen Kamera (inkl. Brennweite) und deren bewegliche Position im Raum wird die Bildsequenz (30 Bilder/Sekunde) für den definierten Kameraweg im Batch-Modus berechnet. Die errechneten Bilder werden aus Gründen der Geschwindigkeit im BMP-Format abgespeichert. Für einen kleinen Rundflug um ein 3-D Stadtmodell sind circa 250-350 Bilder erforderlich. Die Abb. 4 zeigt zwei perspektivische Ansichten (Regensdorf und Murten) von 3-D Stadtmodellen aus einer Videosequenz mit einem digitalen Orthophoto im Hintergrund.

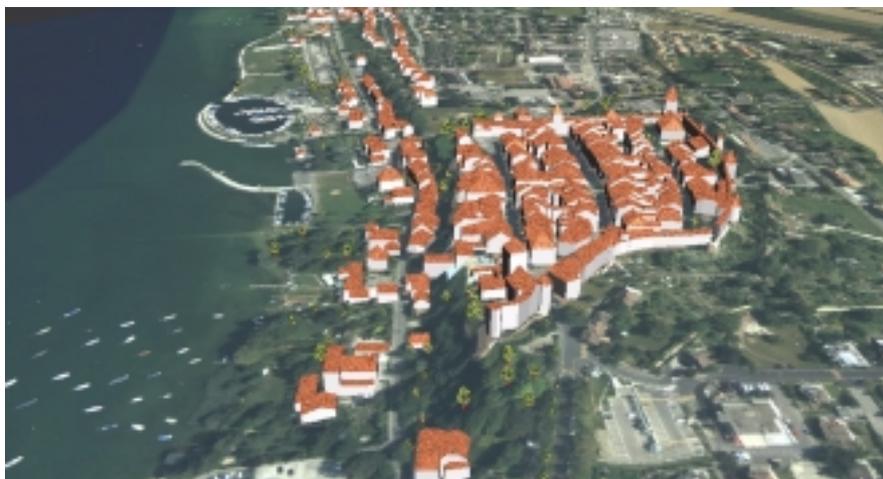


Abb. 4: Synthetische perspektivische Ansichten von 3-D Stadtmodellen und digitalem Orthophoto (oben Ausschnitt von Regensdorf-Watt, unten Murten)

5. Praktische Beispiele von generierten 3-D Stadtmodellen

Wurden früher die Dachlandschaften bzw. 3-D Stadtmodelle für die Modellbauer gemessen, so nimmt doch die Erstellung von 3-D Stadtmodellen für die Visualisierung bei Planung, Entwurf, Analyse und Simulation heute immer mehr zu. In Tabelle 1 sind ausgewählte Projekte mit 3-D Stadtmodellen, die in der letzten Zeit bei der Swissphoto Vermessung AG bearbeitet wurden, zusammengefasst.

Projekt	Bildmassstab	Objekte in CCM	Punkte	Dächer	Messung [h]	Leistung [Dach/h]	Leistung [Punkt/h]
Dietikon ZH	1: 7'500	298	3146	200	13.5	15.0	233
Regensdorf ZH	1: 4'500	925	6425	450	21.5	20.7	299
Murten	1: 8'000	334	3226	197	20.0	9.9	161
Biel	1: 8'000	203	1590	128	6.5	19.7	244
Neuchatel	1: 8'000	141	1493	77	8.5	9.1	176
Yverdon	1: 8'000	101	715	45	8.5	5.3	84
Zug (Herti)	1: 7'000	305	2305	183	11.0	16.6	210

Tab. 1: Ausgewählte Projekte 3-D Stadtmodelle bei Swissphoto Vermessung AG

Bei den verschiedenen Projekten hat sich gezeigt, dass sich für die Erstellung von 3-D Stadtmodellen Luftbilder mit einem Bildmassstab von grösser als 1: 10'000 besonders eignen. Die Geschwindigkeit der Datenerfassung (Dächer) hängt von dem geforderten Detailreichtum, vom Bildmassstab und von der Komplexität der zu erfassenden Gebäude ab. Der Operateur muss sich mit den Techniken der Datenerfassung am analytischen Plotter auskennen und mit der erforderlichen Kodierung bei den Messungen der Objekte vertraut sein. Die Datenerfassungsrate am analytischen Plotter variiert für die in Tabelle 1 aufgeführten Projekte zwischen 5 und 27 Dächer pro Stunde. Diese starke Variation in der Erfassungsrate ist u.a. durch die unterschiedliche Komplexität der Stadtmodelle und durch die Erfahrung der Operateure zu erklären. In Grün et al. (1998) wird ein Tagespensum von 500 gemessenen Dächern für einen erfahrenen Operateur angegeben, was in den durchgeführten Projekten bei der Swissphoto Vermessung AG noch nicht erreicht werden konnte.

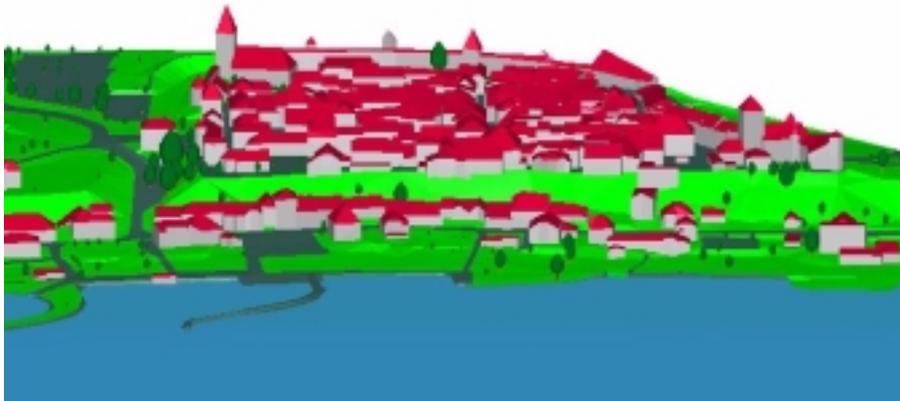


Abb. 5: Virtuelles 3-D Stadtmodell Murten

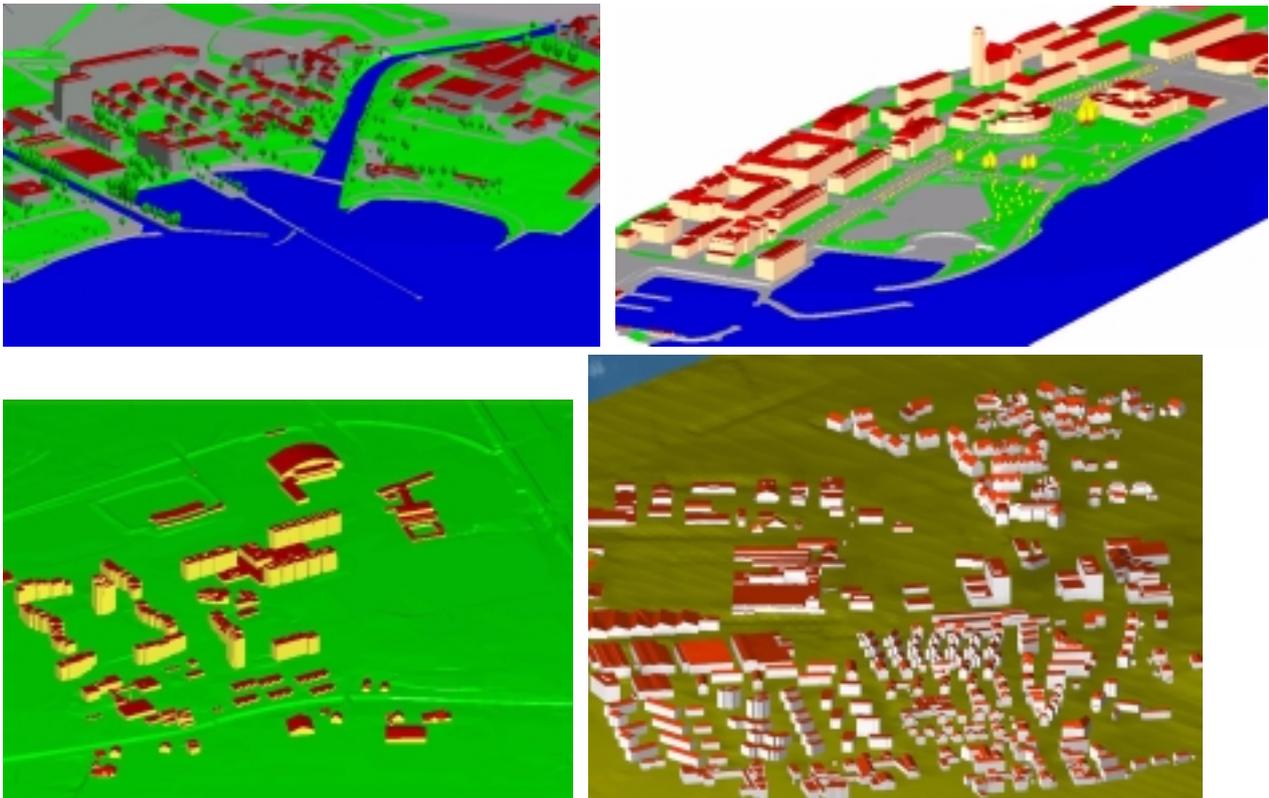


Abb. 6: Virtuelle Stadtmodelle von Biel (links oben), Neuchatel (rechts oben), Zug-Herti (links unten), Regensdorf-Watt (rechts unten)

Die Erfolgsrate von der Software CCM bei der automatischen Strukturierung der gemessenen Objekte lag bei allen Projekten über 90%. Die verbliebenen Dächer konnten durch die verfügbaren CCM-Editierwerkzeuge rekonstruiert werden.

In der Abb. 5 ist das 3-D Stadtmodell von Murten dargestellt, während die Abb. 6 die mit CCM generierten Stadtmodelle Biel, Neuchatel, Zug (Herti) und Regensdorf zeigt.

6. Beurteilung der Methode (Vor- und Nachteile)

Durch Messungen am analytischen Plotter in grossmassstäbigen Luftbildern und durch die anschliessende automatische Strukturierung der gemessenen Objekte mit CCM lassen sich 3-D Stadtmodelle effizient mit grosser Genauigkeit und grossem Detailreichtum erstellen. Der Detaillierungsgrad hängt von der Aufgabenstellung ab und die Genauigkeit wird durch den Bildmassstab der Luftbilder bzw. durch die verwendete Brennweite der Kamera festgelegt. Bei Messungen am analytischen Plotter lassen sich je nach Qualität des Gerätes und der Luftbilder Lagegenauigkeiten von 5-10 μm im Bild und Höhengenaugigkeiten von 0.1-0.15 % der Flughöhe über Grund erreichen. Bei einem Bildmassstab von 1: 10'000 entspricht das einer maximalen Lagegenauigkeit von bis zu 5 cm und eine Höhengenaugigkeit von bis zu 15 cm für den gemessenen und gut identifizierbaren Punkt.

Die Vorteile dieser Erfassungsmethode (Analytischer Plotter und CyberCity Modeler) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- ◆ Erstellung von genauen und detaillierten 3-D Stadtmodellen
- ◆ vollautomatische Strukturierung der gemessenen Objekte
- ◆ interaktive Fehlerkorrekturen in 2-D und 3-D

- ◆ Folgende Bereiche lassen sich bei dieser Methode bzw. bei der Software CCM noch verbessern:
- ◆ Vereinfachungen bei der 3-D Objekterfassung (keine Vorstrukturierung der Daten, beliebige Punktwolke)
- ◆ Klar definierte Anbindung von CCM an das Messmodul (z.B. AP mit Mircostation/Pro600) bzw. eine Schnittstelle für die Dateneingabe von unterschiedlichen Messsystemen
- ◆ Integration einer Software für Dreiecksvermaschung in CCM, um die Umwandlung der DTMs mit der Software DTMZ zu vermeiden
- ◆ Integration von vorhandenen Grundbuchdaten, um die Modellierung von Gebäuden mit Dachüberständen zu ermöglichen
- ◆ Erstellung von Gebäudevolumina (3-D Körper)
- ◆ Verbesserung der Editiermöglichkeiten (zwischenzeitliches Abspeichern der editierten Daten, begrenzte CAD-Funktionalität wie z. B. Löschen und Hinzufügen von Punkten)
- ◆ Optionale Kodierung der Dachbeschaffenheit für verschiedene Anwendungen (z.B. GEP)

7. Schlussfolgerung und Ausblick

Durch die Kombination von modernen Auswertegeräten der analytischen und digitalen Photogrammetrie mit dem speziell entwickelten Softwarepaket CCM (CyberCity Modeler) für die Datenstrukturierung steht eine effiziente Methode zur halbautomatischen Generierung von 3-D Stadtmodellen zur Verfügung, die in den oben erwähnten praktischen Projekten ausführlich getestet werden konnte. Die virtuellen Stadtmodelle können flächendeckend, aktuell, geometrisch genau, schnell erfasst und strukturiert und anschliessend visualisiert werden. Durch die Integration dieser Stadtmodelle in diverse GIS und CAD-Systeme stehen verschiedenen Anwendern geeignete Instrumente und Daten für die Planung, Analyse, Visualisierung und Simulation von urbanen Gebieten zur Verfügung. Durch die Verfügbarkeit von urbanen 3-D Daten wird die Nachfrage nach genauen, aktuellen und flächendeckenden 3-D Stadtmodellen durch die verschiedenen Anwender wie z. B. computergestützter Städtebau und -entwicklung, Telekommunikation, Tourismus und Immobilienbranche in Zukunft stark zunehmen, so dass eine effiziente Datenerfassung erforderlich sein wird, um die gewünschten Daten schnell und kostengünstig liefern zu können. Daher ist zu erwarten, dass in einigen Jahren die 3-D Stadtmodelle, ausgehend von den Ballungszentren bis in die ländlichen Regionen flächendeckend in der ganzen Schweiz erfasst sein werden.

Nach der Erfassung des bestehenden Datenbestandes stellt sich zwangsläufig die Frage nach der Nachführung solcher 3-D Stadtmodelle. Es bieten sich hierbei verschiedene Möglichkeiten an:

- ◆ Die Architekturbüros (CAD-unterstützte Bauplanung) leiten die Daten für ein bewilligtes Bauprojekt an den Geometer oder an die Datenverwaltungsstelle (3-D Stadt- oder Gemeinde-GIS) weiter.
- ◆ Der Geometer erfasst die neuen Bauten im Rahmen der amtlichen Nachführung dreidimensional. Die 3-D Stadtmodelle werden ähnlich wie die Grundbuchpläne nachgeführt.
- ◆ Die Photogrammetrie erfasst die neuen oder veränderten Gebäude aus aktuellen Luftbildern nach Bedarf oder nach regelmässigen Befliegungen.

In Zukunft wird die Datenabgabe von 3-D Visualisierungen raumbezogener Informationen in photogrammetrischen und GIS-Projekten zunehmend Standard sein. Eine wesentliche Rolle wird dabei auch die steigende Leistungsfähigkeit von Computersystemen sein, die mit der entsprechend Taktfrequenz (z.B. > 1000 MHz) und internem Speicher RAM (> 1 Gbyte) eine Echtzeit- Visualisierung in 3-D ermöglichen wird.

Literatur

BARTEL, S., BILL, R., BOYTSCHIEFF, C., KÖNINGER, A. 1997. Datenfusion zur Erstellung realitätsnaher 3D-Geo-Informationssysteme für die städtebaulichen Planungen. *ZPF - Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung*, Nr. 4, pp. 129-137.

BRUNN, A., WEIDNER, U. 1998. Hierarchical Bayesian nets for building extraction using dense digital surface models. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 53, No. 5, pp. 296-307.

FRISCHKNECHT, S., CAROSIO, A., 1997. Raster-based methods to extract structured information from scanned topographic maps. *ISPRS Workshop on 3-D Reconstruction and Modelling of Topographic Objects*, Stuttgart, Germany, pp. 63-67.

GRÜN, A., STEIDLER, F., WANG, X., 1998. CyberCity Modeler - ein System zur halbautomatischen Generierung von 3-D Stadtmodellen. *VPK - Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik*, Nr. 9, pp. 457-460.

GRÜN, A., WANG, X., 1998. CC-Modeler: A topology generator for 3-D city models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, pp. 188-196.

HAALA, N., BRENNER, C., STÄTTER, C., 1998. An Integrated System for Urban Model Generation. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, pp. 96-103.

OPRECHT, A., REIMERS, A., 1998. Stadtvermessung dreidimensional. *BKG - Bund, Kanton, Gemeinde*, Nr. 4/98, pp. 32-34.

STENGELE, R., 1995. Kartographische Mustererkennung: Rasterorientierte Verfahren zur Erfassung von Geo-Informationen. *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, Mitteilungen Nr. 54*, p. 147.

ZANINI, M., 1998. Dreidimensionale synthetische Landschaften - Wissensbasierte dreidimensionale Rekonstruktion und Visualisierung raumbezogener Informationen. *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, Diss. ETH Nr. 12893*, p. 179.