

Anwendungspotential virtueller Stadtmodelle

NORBERT HAALA¹

Abstrakt: Für die Generierung virtueller Stadtmodelle stehen mittlerweile leistungsfähige Systeme zur Verfügung, die eine effektive, flächendeckende Datenerfassung ermöglichen. Neben der Weiterentwicklung der Erfassungstechniken tritt deshalb die Erschließung neuer Einsatzbereiche für virtuelle Stadtmodelle einschließlich der effektiven Darstellung, Bereitstellung und Interaktion der verfügbaren Daten zunehmend in den Vordergrund. Anhand einiger Anwendungsszenarien virtueller Stadtmodelle werden die sich daraus ergebenden Problemstellungen diskutiert.

1 Einleitung

Die Entwicklung von Systemen zur automatischen Erfassung kartographischer Objekte bildete einen Schwerpunkt der photogrammetrischen Forschung der letzten Jahre. Ein Hauptaspekt galt dabei der Entwicklung von Methoden, die eine vollständige oder teilweise Automatisierung der Rekonstruktion von Gebäuden zum Ziel haben. Inzwischen haben eine Reihe dieser Entwicklungen ihre Tauglichkeit für die Praxis bewiesen. Die flächendeckende Erfassung von Gebäudegeometrie, Geländeoberfläche und Oberflächentextur aus Bilddaten auch im Rahmen größerer Projekte ist mittlerweile Stand der Technik, einige - vor allem semi-automatische - Verfahren sind bereits kommerziell erhältlich bzw. stehen kurz vor der Kommerzialisierung.

Neben den klassischen photogrammetrischen Aufgabenstellungen wie der Datenerfassung für Geo-Informationssysteme wurden die Arbeiten zur effektiven Generierung virtueller Stadtmodelle vor allem durch potentielle Anwendungen auf dem Gebiet der Computer Graphik motiviert. In diesem Bereich stehen immer leistungsfähigere Algorithmen für die interaktive Visualisierung von virtuellen, synthetischen Landschaften zur Verfügung. Ein Beispiel für die Nutzung synthetischer Daten, die einen sehr engen Bezug zu der realen Welt aufweisen müssen, ist die Integration virtueller Stadtmodelle in zukünftige Navigationssysteme. Derzeit verfügbare Systeme zur Fahrzeugnavigation basieren auf einer einfachen zweidimensionalen Darstellung, bei der die aktuelle Position des Nutzers in eine Karte eingeblendet wird und die Darstellung des gesuchten Weges durch einfache Richtungspfeile erfolgt. Aufbauend auf virtuellen Stadtmodellen könnten zukünftige Personennavigationssysteme dreidimensionale Ansichten der jeweiligen Umgebung generieren und so dem Nutzer auf der Basis von realistisch dargestellten Wahrzeichen eine intuitivere Navigation erlauben. In eine ähnliche Richtung gehen auch Anwendungen der sogenannten Augmented Reality (AR, "erweiterte Realität"), bei denen dem Nutzer kontextabhängig Information eingeblendet wird. Solche Anwendungen werden im Augenblick vor allem für industrielle Anwendungen realisiert bei denen beispielsweise einem Monteur über eine Datenbrille Montagehinweise in das Sichtfeld eingeblendet werden. Ähnliche Szenarien sind jedoch auch im Kontext von Stadtfomationssystemen möglich, bei denen das sichtbare Stadtmodell mit ortsbezogener Information zu den jeweils sichtbaren Gebäude erweitert und dem Nutzer zugänglich gemacht wird.

¹ Norbert Haala, Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, Geschwister-Scholl-Str. 24, 70174 Stuttgart

Dieser Artikel soll nur einen groben Überblick über die Leistungsfähigkeit bestehender Verfahren zur Erfassung virtueller Stadtmodelle geben. Der Hauptaspekt gilt der Diskussion von zukünftigen Anwendungsszenarien und den sich daraus ergebenden Anforderungen an das Management, die Prozessierung und die Präsentation der erfassten Daten.

2 Erfassung virtueller Stadtmodelle

Derzeitigen Systemen zur Erfassung virtueller Stadtmodelle liegen hauptsächlich semiautomatische Verfahren zugrunde, zusätzlich werden häufig automatische Komponenten mit entsprechender manueller oder semiautomatischer Vor- oder Nachbearbeitung eingesetzt. In der Regel werden als Datenquellen Luftbildern sowie dichte Digitale Höhenmodelle (DHM) verwendet, zum Teil werden auch existierende Karten oder GIS-Daten zusätzlich integriert. Ein Beispiel für die semi-automatische Erfassung von Stadtmodellen ist das an der ETH Zürich entwickelte System CyberCity Modeler (GRÜN & WANG, 1998). Bei diesem Verfahren werden zunächst durch einen Operateur an einer digitalen photogrammetrischen Station die 3D Koordinaten von Trauf- und Giebelpunkten erfasst. Der Aufbau der topologischen Beziehungen zwischen den Punkten erfolgt anschließend automatisch, wobei das System eine bestimmte Reihenfolge bei der manuellen Punktmessung in dem Luftbildpaar voraussetzt. Das System der Universität Bonn modelliert Gebäude mit einer Anzahl von parametrischen Primitiven wie Flachdach, Pultdach, Satteldach und Walmdach (GÜLCH ET AL, 1999). Die durch die einzelnen Primitive repräsentierten einzelnen Gebäudeteile werden anschließend mittels eines CSG-Ansatzes zu komplexen Gebäuden zusammengesetzt. Bei der auf Luftbildern bzw. digitalen Höhenmodellen basierenden Messung der Modellparameter für die einzelnen Primitive wie horizontale Dimension, Position und Orientierung sowie Trauf- und Giebelhöhen wird der Operateur durch verschiedene automatische Prozeduren unterstützt. Das an der Universität Stuttgart entwickelte Verfahren (BRENNER & HAALA, 2000) basiert auf der Verwendung von dichten Digitalen Höhenmodellen sowie der Integration von Grundrissen in den Rekonstruktionsprozess. Die Gebäude werden wiederum durch eine Kombination von Gebäudeelementen beschrieben. Zur Initialisierung dieser 3D Primitive werden die aus einem GIS verfügbaren Grundrissspolygone in einzelne Rechtecke zerlegt. Anschließend definiert jedes dieser Rechtecke die Grundfläche des zugehörigen 3D Gebäudeprimitives. Die fehlenden Parameter (Dachform, Gebäudehöhe und Dachneigung) werden durch die Minimierung der Differenzen zwischen der zu rekonstruierenden Dachfläche und dem DHM im Rahmen einer Parameterschätzung bestimmt.

Alle Systeme wurden bereits mehrfach für die Datenerfassung in größeren Projekten eingesetzt. Mit dem Verfahren der Universität Stuttgart wurden beispielsweise 3D Stadtmodelle für die Bereiche Heidelberg-Altstadt (mit 1642 zu rekonstruierenden Gebäude), Wien-Erdberg (2274 Gebäude) und Stuttgart-Zentrum (5209 Gebäude) erfasst. Da mittlerweile leistungsfähige Systeme für eine flächendeckende Erfassung von 3D Stadtmodellen zur Verfügung stehen, tritt neben der Weiterentwicklung dieser Techniken die optimale Nutzung der gewonnenen Daten sowie die Erschließung neuer Anwendungen zunehmend in den Vordergrund.

3 Realistische Visualisierung

Eine wichtige Anwendung von virtuellen Stadtmodellen liegt in der Visualisierung. Disziplinen wie Stadtplanung, Raumplanung und Architektur bilden hierfür den klassischen Einsatzbereich. Die Anforderungen aus diesen Bereichen geben somit auch die Realitätsnähe vor, die bei der Visualisierung von virtuellen Stadtmodellen erreicht werden muss. Zur Definition

dieser Anforderungen unterscheidet DANAHY (1999) die Darstellung virtueller Stadtmodelle in drei jeweils vom Standpunkt des Betrachters abhängige Fälle:

1. Visualisierungen aus der Vogelperspektive mit Höhen über 200 m. Dadurch kann sich der Betrachter einen guten Überblick über die gesamte Szene verschaffen.
2. Erhöhte Schrägaufnahmen aus Höhen von 200 m bis 2 m zur Beurteilung der räumlichen Anordnung von Gebäuden. Visualisierungen für Anwendungen in der Architektur verwenden sehr häufig Standpunkte von 5 m bis 3 m über Grund. Diese Darstellung liefert einen guten Eindruck der Umgebung, zusätzlich werden durch das Fehlen extrem geringer Entfernungen zu den sichtbaren Objekten die Anforderungen an die geometrische Detailierung des Modells auf ein akzeptables Maß beschränkt
3. Aufnahmen aus der Fußgängerperspektive, die dem visuellen Eindruck von Personen entsprechen.

LANGE (1999) zeigt in empirische Studien zur Bewertung des Realitätsgrades von virtuellen Ansichten, dass der wichtigste Faktor für eine als realitätsnah empfundene Visualisierung die Überlagerung des Geländemodells mit hochauflösenden Orthobildern sowie die Präsenz von dreidimensional dargestellten Gebäuden ist.



Abbildung 1: 3D Stadtmodell mit Textur aus Luftbildern

Je geringer der Abstand des Betrachters von der jeweiligen Szene ist, umso wichtiger werden die texturierten Gebäude für den visuellen Eindruck. Je nach Entfernung des Beobachtungsstandpunkts kann dabei unterschiedliche Bildtextur verwendet werden. Für eine Betrachtungen aus einer Höhe über 50 m – 100 m ist in der Regel die Verwendung von Luftbildtextur ausreichend, wie sie in Abbildung 1 realisiert ist. Die Texturierung der Gebäude kann in diesem Fall wie in Abbildung 2 skizziert erfolgen. Die rekonstruierten Gebäude liegen in der Regel als Randwertbeschreibungen von Polyedern vor, so dass die einzelnen Gebäudeflächen in das zugehörige Luftbild projiziert werden können. Dazu werden die Eckpunkte des Poly-

ders mittels der bekannten Kollinearitätsbeziehungen aus dem 3D Objektraum in das Bild transformiert. Zur Überprüfung der Sichtbarkeit der einzelnen Objektflächen im Luftbild wird dabei vorab der Winkel zwischen der jeweiligen Flächennormale und der Beobachtungsrichtung überprüft. Voraussetzung für die automatische Texturierung sind damit lediglich die Kenntnis der Parameter der inneren und äußeren Orientierung des Luftbildes. Diese können üblicherweise als bekannt vorausgesetzt werden oder können über Standardverfahren einfach bestimmt werden. Stehen nach der Texturierung die Objekt- und Bildkoordinaten für die einzelnen Polygonpunkte zur Verfügung, dann erfolgt die Überlagerung der Gebäudeflächen mit den korrespondierenden Bildausschnitten während der Betrachtung automatisch durch die Visualisierungssoftware. Die zur korrekten Abbildung der Gebäudeflächen notwendige projektive Transformation wird dabei in der Regel nicht durchgeführt, unter der Annahme schwach perspektiver Luftbilder kann der dadurch entstehende Fehler bei der Betrachtung aber üblicherweise vernachlässigt werden.

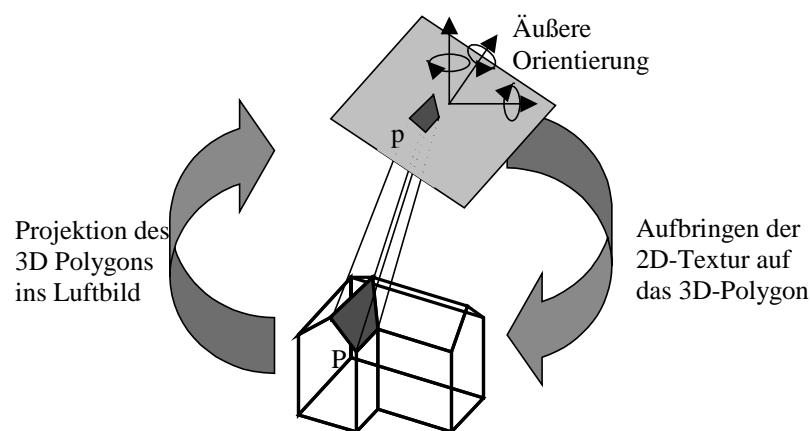


Abbildung 2: Gewinnung von Textur aus Luftbildern

Bei einer weiteren Annäherung des Betrachters ist eine ausschließliche Verwendung von Luftbildern wie in Abbildung 1 jedoch nicht mehr möglich. In diesem Fall ist – wie in Abbildung 3 dargestellt – eine Kombination der Luftbildtextur mit terrestrisch gewonnenen Bildern notwendig. Für die Erzeugung dieser Darstellung wurden in terrestrischen Aufnahmen die Eckpunkte der einzelnen Gebäudefassaden manuell selektiert. Die dadurch entstandenen Bildausschnitte wurden anschließend mit der korrespondierenden Gebäudefläche verknüpft. Diese Verknüpfung wurde manuell innerhalb eines kommerziellen Programmpaketes durchgeführt, das auch zur anschließenden Visualisierung der 3D Szene verwendet wurde. Wie schon erwähnt ist eine perspektive Transformation von Bildern oder Bildausschnitten in Standardprogrammen zur Visualisierung nicht vorgesehen. Da diese Effekte aufgrund des Blickwinkels von terrestrischen Bildern in der Regel nicht zu vernachlässigen sind, wurden die terrestrischen Bilder der Fassaden deshalb vor der Verknüpfung mit der korrespondierenden Gebäudeoberfläche zunächst perspektiv entzerrt.

Das manuelle Aufbringen der Fassadentextur aus terrestrischen Bildern stellt derzeit einen Engpass bei der Erzeugung virtueller Stadtmodelle dar. Eine Alternative dazu wäre die Verwendung georeferenzierter Bilder. Analog zu dem für Luftbilder beschriebenen Verfahren kann dann mit bekannter äußerer Orientierung die Textur der Gebäude automatisch extrahiert und auf die korrespondierenden Gebäudeoberflächen aufgebracht werden. Ein solches System, das die Erfassung georeferenzierter, terrestrischer Bilder in urbanen Gebieten durch GPS/INS-Messungen ermöglicht, wird beispielsweise in BOSSE ET AL (2000) beschrieben. Die Positionierung und Orientierung eines Nutzers innerhalb einer urbanen Umgebung ist jedoch nicht nur für die Aufnahme georeferenzierter Bilder im Rahmen der Datenerfassung

von Interesse. Das Hauptpotential solcher Techniken liegt in Anwendungen, die basierend auf virtuellen Stadtmodellen dem Nutzer einen Zugriff auf ortsbezogene Dienste ermöglichen.



Abbildung 3: Visualisierung durch Kombination von Luftbildern und terrestrisch gewonnener Textur

4 Anwendungsszenarien

Das den Abbildung 1 und Abbildung 3 zugrunde liegende virtuelle Stadtmodell wurde im Rahmen des Projektes Deep Map erfasst. Innerhalb dieses Projektes wird ein mobiles Touristen-Informationssystem für die Stadt Heidelberg entwickelt, das dem potentiellen Besucher die interaktive Planung von Touren anhand virtueller Stadtrundgänge ermöglicht (EUROPEAN MEDIA LAB, 1999). Vor Ort soll es dann auch möglich sein, thematische Daten wie Öffnungszeiten von Gebäuden abzufragen oder historische Ansichten der Umgebung zu generieren. Zur Visualisierung dieser Information sollen die virtuellen Objekte – in diesem Fall die Ansichten der historischen Gebäude – über eine Datenbrille in das reale Sichtfeld des Beobachters eingeblendet werden (COORS ET AL., 2000). Ein ähnliches System, das den Nutzer ebenfalls durch solche Augmented Reality Techniken bei der Navigation unterstützt, beschreiben auch HÖLLERER ET AL (1999). Für den Bereich eines Universitätscampus werden dabei die Gebäude im Sichtfeld des Nutzers mit den jeweils zugehörigen Namen überlagert, darüber hinaus ist der Zugriff auf weitere Information wie die Lage von Seminar- oder Büroräumen innerhalb der Gebäude über eine drahtlose Anbindung an das Internet möglich. Diese Anbindung erlaubt zudem den interaktiven Zugriff auf die jeweiligen Internetseiten der Institute. Die Bereitstellung ortsbezogener Dienste steht auch im Mittelpunkt des Projektes NEXUS an der Universität Stuttgart. Für die Realisierung dieser Dienste ist wiederum parallel zur realen Welt eine virtuelle Welt, d.h. ein Datenmodell der realen Welt vorhanden

(Abbildung 4). Innerhalb des virtuellen Modells kann die reale Welt mit zusätzlichen Elementen wie virtuellen Litfasssäulen (ViLis) angereichert werden. Diese virtuellen Litfasssäulen halten dann Informationen strukturiert vor, die für ein bestimmtes Gebiet von Interesse sind. Dadurch können verschiedene Dienste wie die Navigation des Nutzers in seiner Umgebung, räumliche Abfragen oder Telepointing verfügbar gemacht werden.

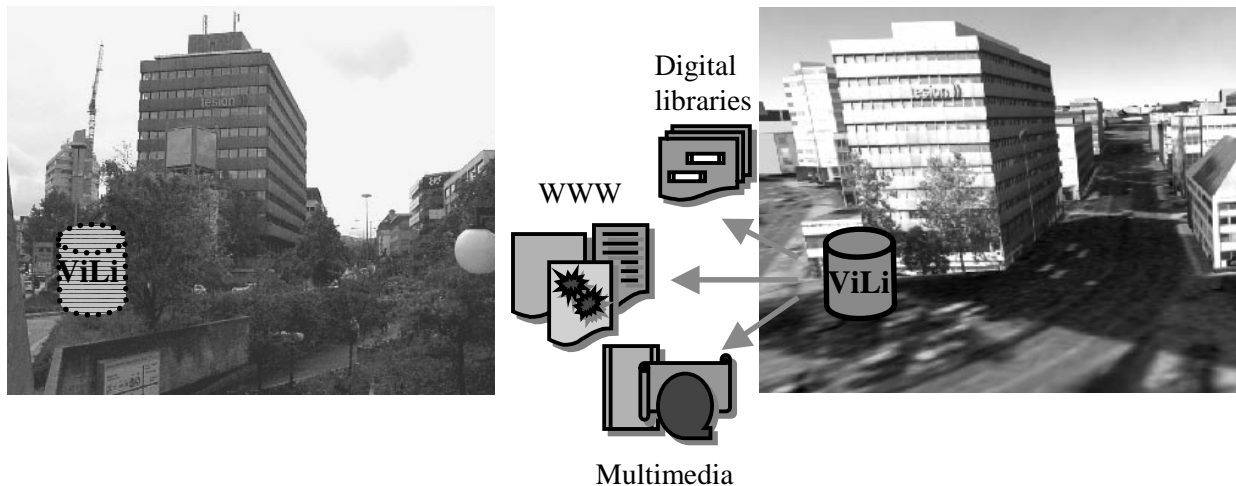


Abbildung 4: Verbindung zwischen realer Welt und virtueller Welt

Für die Visualisierung der bereitgestellten Information innerhalb der Augmented Reality Anwendungen können alternativ zu Datenbrillen auch portable Rechner oder persönliche Digitale Assistenten (PDA) verwendet werden (siehe Abbildung 5). In diesem Fall werden die virtuelle Objekte nicht mehr in das Sichtfeld des Betrachters eingeblendet, sondern sie werden Bildern hinterlegt, die mit einer in das System integrierten Kamera aufgenommen werden. Für die visuelle Überlagerung der realen Umgebung mit den rechnergenerierten virtuellen Objekten muss deshalb der Standpunkt und die Betrachtungsrichtung des Nutzers bestimmt werden. Üblicherweise erfolgt die Georeferenzierung bei Augmented Reality Systemen durch die Kombination eines DGPS-Empfängers mit Inertialsensoren bzw. mit digitalem Kompass und Neigungsmesser. Hier stellt sich jedoch häufig das Problem der unzureichenden Genauigkeit der zu bestimmenden Orientierung. Stehen Bilder der Umgebung zur Verfügung, so können diese als zusätzliche Informationsquelle zur Stützung dieses Prozesses verwendet werden, da basierend auf korrespondierenden Elementen zwischen dem Bild und dem 3D Stadtmodell eine genauere Bestimmung der äußeren Orientierung möglich ist. Die sehr komplexe Bestimmung dieser Korrespondenzen kann dabei durch Näherungswerte stark vereinfacht werden, die durch die direkt gemessenen Parameter der äußeren Orientierung bereitgestellt werden. Stehen nach Abschluss der Georeferenzierung die Bildern in Bezug zu den bereits erfassten GIS-Objekten (z.B. den Gebäuden) zur Verfügung ist nicht nur eine Überlagerung virtueller Objekte möglich. Der Nutzer kann dann auch auf bestimmte Bildbereiche zeigen



Abbildung 5: NEXUS Endgerät (Simulation)

und so sehr einfach und intuitiv auf die jeweilige, mit den Objekten verknüpfte Information zugreifen (Telepointing). Diese Information soll im Rahmen des Projektes NEXUS von den virtuellen Litfasssäulen über eine entsprechend leistungsfähige Datenübertragung bereitgestellt werden. Zu diesem Zweck sollen mobile Endgeräte zum Einsatz kommen, in denen die Funktionalität portabler Rechner und Kommunikationsgeräte vereint ist.

5 Ausblick

Bereits heute ist der Aufbau größerer virtueller Stadtmodelle möglich, die Methoden zur Datenerfassung befinden sich derzeit auf dem Weg von der Forschung in die Praxis. Offen ist im Moment vor allem noch, zu welchen Kosten diese Erfassung erfolgen kann und welche Kapazitäten dazu verfügbar sein werden. Dies liegt zum einen an dem verbleibenden Automatisierungspotential der aktuellen Verfahren, darüber hinaus existieren aufgrund bisher fehlender ‚Standardanwendungen‘ auch noch keine allgemein gültigen Qualitätskriterien für die Erfassung. Damit tritt neben der weiteren Verfahrensentwicklung für die Datenbeschaffung immer mehr das Problem der optimalen Nutzung virtueller Stadtmodelle sowie die Erschließung neuer Einsatzbereiche in den Vordergrund. In zunehmendem Maße können 3D Stadtmodelle in Standard-GIS Pakete integriert und damit für die Visualisierung innerhalb einer solchen Umgebung genutzt werden. Weitere Anwendungen von 3D Analysen werden aber von diesen Paketen derzeit noch nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung gestellt, zudem muss das Problem der Vereinheitlichung der Datenmodelle und Schnittstellen noch befriedigender gelöst werden. Für die reine 3D Visualisierung von Stadtmodellen stehen im Prinzip schon jetzt sehr viele Werkzeuge zur Verfügung, allerdings ist die animierte Echtzeitdarstellung großer Datenmengen bei einem Einsatz von Standard-Hardware noch nicht möglich. Werden diese Probleme gelöst, dann steht mit der Integration von 3D Stadtmodellen in Augmented Reality Anwendungen ein großes Anwendungspotential auch für einen Massenmarkt zur Verfügung. Aufgaben wie die großflächige Bereitstellung ortsbezogener Daten und räumlicher Dienste, die Visualisierung dieser Daten oder die genaue Positionierung und Orientierung des Nutzers überfordern im Augenblick aufgrund ihrer Komplexität noch die Rechenleistung verfügbarer Geräte und Infrastrukturen. Die rasante Entwicklung im Bereich von persönlichen digitalen Assistenten sowie der Telekommunikation bringt jedoch immer kleinere und leistungsfähigere Systeme hervor, so dass solche Anwendungen auch basierend auf zukünftigen mobilen Endgeräten zunehmend realistisch erscheinen. Um diese entstehenden Infrastrukturen sinnvoll nutzen zu können, sollten deshalb schon jetzt die zur Realisierung dieser Szenarien benötigten Verfahren und Algorithmen entwickelt werden.

6 Literatur

- BOSSE, M., DE COUTO, D. & TELLER, S. (2000) Eyes of Argus: Georeferenced Imagery in Urban Environments. *GPS World April*, pp. 20-30.
- BRENNER, C. & HAALA, N. (2000) Erfassung von 3D Stadtmodellen. *PhG - Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation*, **2**, pp. 109-117.
- COORS, V., HUCH, T. & KRETSCHMER, U. (2000) TouriSTAR-ein mobiles AR System in einer urbanen Umgebung. *Visualisierung raumbezogener Daten: Methoden und Anwendungen, Bd. II*, Institut für Informatik, Universität Münster, pp. 191-207.
- DANAHY, J. (1999) Visualization Data Needs in Urban Environmental Planning and Design. *Photogrammetric Week 99*, Wichmann Verlag, pp. 351-365.
- EUROPEAN MEDIA LAB (1999), Jahresbericht 1999, Technical Report, <http://www.eml.villabosch.de>

- GRÜN, A. & WANG, X. (1998) CC-Modeler: A Topology Generator for 3-D City Models. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* **53**, pp. 286-295 .
- GÜLCH, E., MÜLLER, H. & LÄBE, T. (1999) Integration of Automatic Processes into Semi-Automatic Building Extraction. *IAPRS, Vol. 32, Part3-2W5* , pp. 177-186. .
- HÖLLERER, T., FEINER, S., TERAUCHI, T., RASHID, G. & HALLAWAY, D. (1999), Exploring MARS: Developing Indoor and Outdoor User Interfaces to a Mobile Augmented Reality System, *Computers and Graphics*, 23(6), Elsevier Publishers, Dec. 1999, pp. 779-785
- LANGE, E. (1999) Von der analogen zur GIS-gestützten Visualisierung bei der Planung von Landschaften. *GIS* **12**, pp. 29-37 .