

# Virtuelle Städte aus digitalen Bildern

Eberhard Gülch und Hardo Müller  
Institut für Photogrammetrie  
Universität Bonn  
Nußallee 15, D-53115 Bonn  
eMail: ebs|hardo@ipb.uni-bonn.de

## Zusammenfassung

Der Übergang von der klassischen Photogrammetrie mit analogen Bildern zur Digitalen Photogrammetrie mit digitalen Bildern und der Automation von Meßprozessen eröffnet vielfältige Möglichkeiten zur effizienten Erfassung von 3D-Information in urbanen Gebieten. Es ist ein zunehmender Bedarf an realen 3D-Daten für eine Vielfalt von Anwendungen zu beobachten. Diese reichen von Managementaufgaben in Stadtplanung und Städtebau bis hin zu Funknetzsimulationen, Werbung und Spieleindustrie. 3D-Stadtmodelle eignen sich nicht nur zur Analyse und Simulation, sondern auch zur computeranimierten Darstellung bis hin zur Virtuellen Realität. Das hier vorgestellte System wird zur geometrischen Modellierung aus Mono-, Stereo- oder mehrfachüberdeckenden Luftbildern eingesetzt. Verschiedene automatisierte Module unterstützen den Operateur. Neben einer detaillierten geometrischen Erfassung spielt die Visualisierung von Texturen eine immer größere Rolle. Mit dem hier vorgestellten System können orientierte Luft- und Nahbereichsaufnahmen gleichermaßen zur automatischen Texturierung von erfaßten 3D-Objektmodellen eingesetzt werden. Integraler Bestandteil ist eine Entzerrung und die Wahl der Texturelementgröße im Objektraum, womit verschiedene Detaillierungsgrade (Level-of-Detail) der virtuellen Darstellung erzeugt werden können.

## 1 Einleitung

Geoinformationssysteme (GIS) sind ein unentbehrliches Hilfsmittel für Planungen, die wesentlich vom Raumbezug geprägt werden. Die meisten GIS können lediglich zweidimensionale Information verarbeiten. Höheninformation, vor allem über die Geländeform, wird als Attribut verwaltet. Für die Planung, sowie für Umweltanalysen oder Funknetzsimulationen im Stadtbereich werden aber zunehmend dreidimensionale Information benötigt. Die Visualisierung dieser 3D-Information spielt in vielen Fällen eine dominante Rolle. Haupthindernis für die Verwendung ist jedoch die bisher immer noch sehr aufwendige Erfassung des dreidimensionalen Datenbestandes. Realitätsnahe Visualisierungen sind zudem meist nur mit erheblichem manuellen Aufwand zu erstellen.

Anhand von mehreren Beispielen soll ein Überblick über das Potential neuer Erfassungsmethoden für 3D-Geometrie und Textur aus digitalen Luftbildern in urbanen Gebieten gegeben werden.

## 2 Objekterfassung

Die Objekterfassung besteht in der Wahl einer geeigneten 3D-Objektrepräsentation und der eigentlichen 3D-Rekonstruktion. Als Repräsentation für 3D Objekte verwenden wir Volumenprimitive, die durch logische Operationen nach dem Prinzip der Constructive Solid Geometry (CSG) miteinander verknüpft werden können. Die Erfassung der Geometrie erfolgt halbautomatisch. Der Operateur wird durch automatisierte Meßwerkzeuge unterstützt. Die Erfassung der Textur erfolgt automatisch. Liegen orientierte Nahbereichsaufnahmen vor, können diese in den Prozeß integriert und zur realitätsnahen Darstellung verwendet werden.

## 2.1 Geometrie

Für die Objektrekonstruktion haben wir ein Verfahren entwickelt, das es erlaubt, parametrische Modelle von Gebäudeteilen halbautomatisch in die Bilddaten einzupassen und als Ergebnis 3D-Objekte in einer CSG-Datenstruktur zu erhalten. Ausführliche Informationen dazu finden sich in (Gülch 1997), (Gülch, Müller, Läbe, and Ragia 1998) und (Müller 1998).

Abbildung 1 zeigt die Erfassung einer solchen CSG-Datenstruktur am Beispiel einer Kirche.



Abbildung 1: Graphische Benutzeroberfläche (GUI) des Semiautomatischen Systems zur Erfassung von 3D-Stadtmodellen. In den zwei Bildausschnitten sind die angepassten Primitive als Drahtgittermodelle dargestellt. Links unten ist die CSG-Baumstruktur visualisiert und rechts unten die texturierte 3D-Darstellung des gesamten Gebäudekomplexes.

In Abhängigkeit vom Bildmaßstab können sehr komplexe und detaillierte Gebäudestrukturen (siehe Bild 2) rekonstruiert werden. Die Zeit für die Erfassung eines Volumenprimitives liegt z.Zt. bei ca. 40-70 Sekunden.

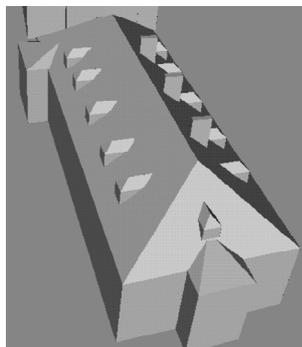


Abbildung 2: Detailerfassung und Kombination von Primitiven am Beispiel einer komplexen Dachstruktur im Stadtgebiet Dessau.

Durch die Automation einzelner Meßschritte konnte eine deutliche Effizienzsteigerung erreicht werden. Am Beispiel der Messung eines Satteldachhauses werden in Abb. 3 einzelne automatisierte Module vorgestellt. Der Operateur paßt die zwei Giebelpunkte des Drahtmodelles eines Satteldachhauses in einem Bild (hier links) ein. Durch automatische Bildzuordnung wird die Firsthöhe mit Hilfe des zweiten Bildes ermittelt (2. Reihe). In einem weiteren automatisierten Schritt werden Traufkante und -höhe mit Hilfe einer robusten Schätzmethode (Läbe and Gülch 1998) basierend auf extrahierte Bildkanten bestimmt (3. Reihe). Durch die Vorgabe eines Bodenpunktes im linken Bild in der Nähe des Gebäudes kann dann abschließend auch noch die Gebäudegrundhöhe ohne weitere Operateurvorgaben bestimmt werden. Eine abschließende automatische Feineinpassung aller Parameter in beiden Bildern liefert das in der 4. Reihe dargestellte korrekte Ergebnis.

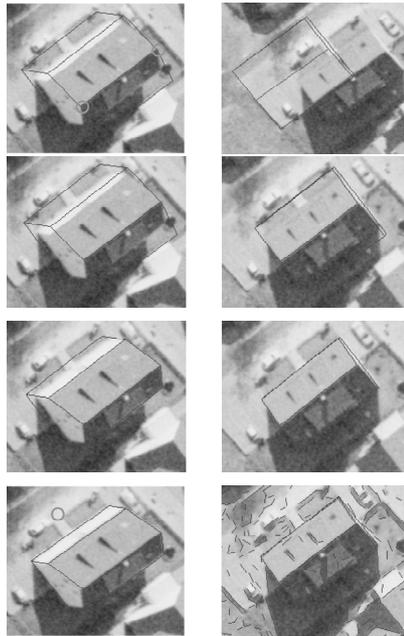


Abbildung 3: *Beispiel für die automatisierte Messung eines Satteldachhauses aus zwei Bildern (links-rechts). 1.Reihe: Der Operateur paßt das Drahtmodell auf die zwei Giebelpunkte ein. 2. Reihe Automatische Messung der Firsthöhe. 3. Reihe: Automatische Bestimmung von Traufkante und Traufhöhe. 4. Reihe: Automatische Messung der Bodenhöhe nach Vorgabe eines Punktes im linken Bild und Ergebnis nach einer abschließenden Feineinpassung.*

## 2.2 Textur

Neben der Geometrie ist auch Texturinformation für 'Virtual Reality' Darstellungen und Animationen von großer Bedeutung. Dies nicht nur als Hilfe für planerische Aufgaben, sondern auch für Bürgerbeteiligung, z.B. über Internet oder Intranet.

Ein Beispiel ist in Abbildung 1 im rechten unteren Fenster zu sehen, wo automatisch Textur aus den Luftbildern extrahiert und auf die erfaßten Gebäudemodelle aufgebracht wird. Aufwendiger und schwieriger gestaltet sich die Kombination von automatisierter Texturextraktion aus Luft- und Nahbereichsaufnahmen. Dazu wird ein objektorientierter Ansatz verwendet. Details hierzu sind in (Gülch and Müller 1997; Müller 1998) zu finden. Wesentliche Merkmale sind die Möglichkeit zur Mehrbild- und Farbbildverarbeitung.

Bei der Texturextraktion wird jedem Oberflächenpolygon ein Raster aus Texturelementen zugeordnet (vgl. Abb. 4). Jedes Texturelement ist mit dem Farbwert und einem Gewichtungsfaktor versehen.

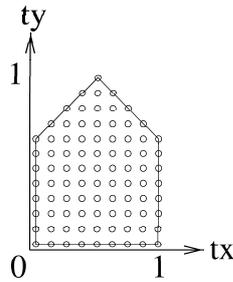


Abbildung 4: Raster aus Texturelementen auf der Frontseite eines Satteldachgebäudes.

Der Gewichtungsfaktor  $w$  wird für die Extraktion aus mehreren Bildquellen verwendet und kann abhängig von der räumlichen Lage des Texturelements zur Kameraposition berechnet werden:

$$w = \begin{cases} A \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi}\right)^k & : \alpha < \frac{\pi}{2} \\ 0 & : \alpha \geq \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

mit

- $w$  = Gewichtungsfaktor,
- $A$  = Fläche des projizierten Texturelements,
- $\alpha$  = Winkel zwischen Oberflächennormale und Richtung zur Kamera,
- $k$  = Faktor zur Regelung des  $\alpha$ -Einflusses.

Für jedes Texturelement wird zunächst die Position im digitalen Bild mit Hilfe der gegebenen Orientierungsdaten berechnet. Anschließend wird der Gewichtungsfaktor wie oben angegeben neu berechnet und mit dem aktuellen Gewichtungsfaktor des Texturelements verglichen. Ist der neu berechnete Faktor höher, so wird der entsprechende Farbwert aus dem digitalen Bild und der neue Gewichtungsfaktor übernommen. Hierzu muß im Raster des digitalen Bildes interpoliert werden. Im anderen Fall bleiben die Werte des Texturelements unverändert. Auf diese Weise können Texturdaten aus verschiedenen Quellen (z.B. Nahbereich und Luftbild) automatisch miteinander kombiniert werden.

Die extrahierten Texturelemente eines Oberflächenpolygons ergeben einen entzerrten Bildausschnitt. Bei dieser integrierten Entzerrung ist die Wahl der Texturelementgröße möglich. Damit lassen sich mit dem System neben verschiedenen geometrischen Level-of-Detail auch verschiedene Level-of-Detail bezüglich der Textur erfassen, bzw. darstellen.

In Abbildung 5 oben sind die Ausgangsbilddaten zur Erfassung des texturierten 3D-Gebäudemodells dargestellt. Es sind dies zwei Luftbildausschnitte für die Erfassung der Geometrie und die Textur der Dachflächen, sowie eine digitale Aufnahme der Fassade (in Farbe) zur Texturdarstellung der Wände. In Abbildung 5 unten sind vier verschiedene Auflösungsstufen der Texturelemente von 10 cm (links-oben) bis 1 m (rechts-unten) visualisiert. Damit lassen sich für eine Betrachtung aus größerer Entfernung einfachere Modelle erstellen, was u. a. auch Rechenzeit einspart. Diese können dann für detaillierte Betrachtung in hoher bis höchster Auflösung dargestellt werden. Da das Nahbereichsbild nur einen Teil der Wand zur Rechten abdeckt, ist die restliche Textur aus einem Luftbild entnommen. Zu beachten ist, daß die integrierte Entzerrung eine unabdingbare Voraussetzung ist, da die Nahbereichsaufnahmen oft sehr konvergent sind, und meist nicht direkt von den Browsern weiterverarbeitet werden können.

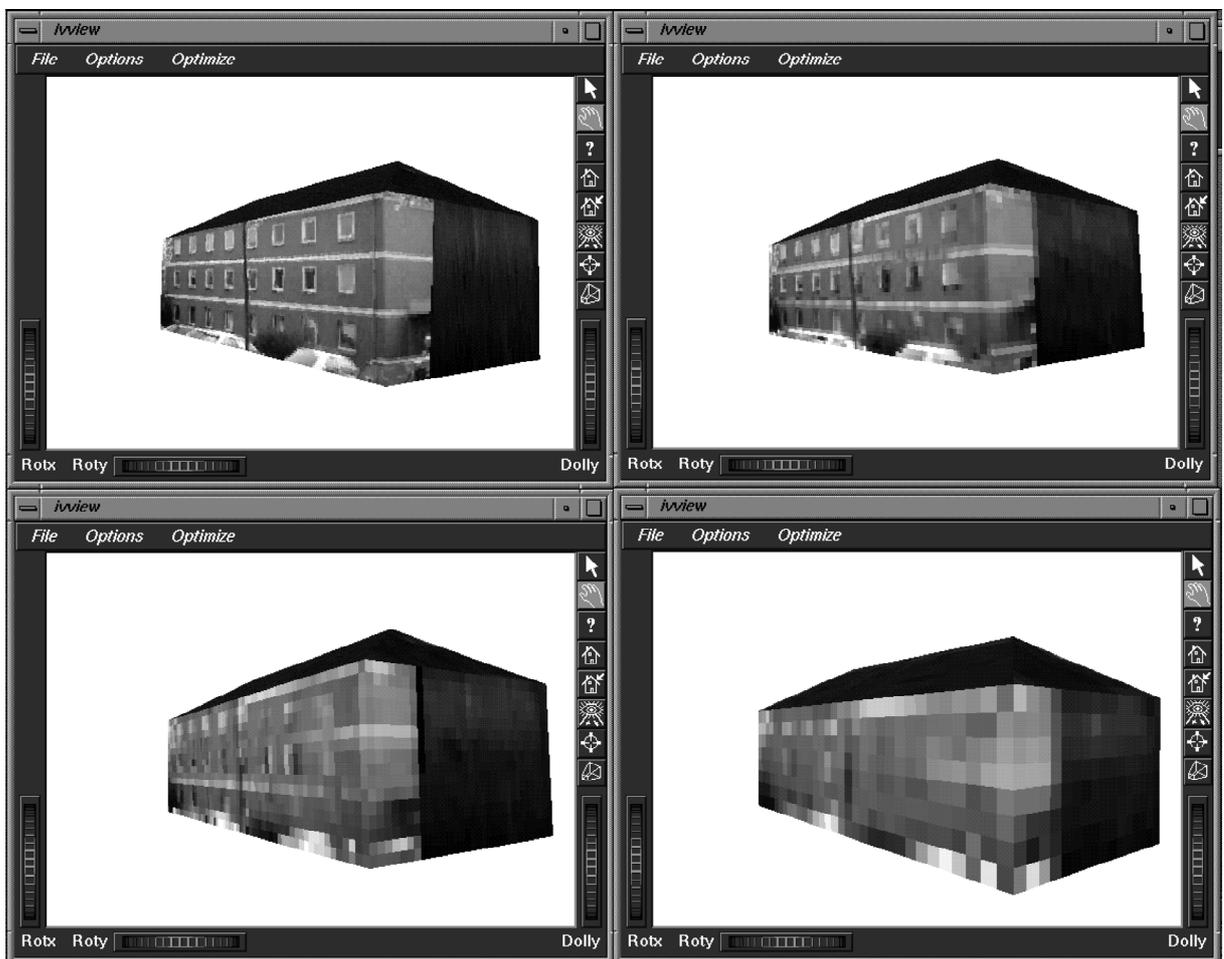


Abbildung 5: Oben: Zwei Luftbildausschnitte zur Ableitung des 3D-Gebäudemodells und eine Nahbereichsaufnahme mit Kodak DC25 Kamera. Unten: Die Aufnahme wurde mit vier verschiedenen Textur-elementgrößen auf das im Luftbild extrahierte 3D-Gebäudemodell aufgebracht. Es ist zu beachten, daß die Wand zur Rechten nur teilweise durch das Nahbereichsbild abgedeckt und infolgedessen auch nur teilweise mit Textur aus diesem Bild versehen ist.

### 3 Beispiele für virtuelle Stadtmodelle

#### 3.1 Zweibildauswertung

Ein Teil des Zentrums von Rostock (s. Abb. 6) wurden nach nur vier Stunden Training von einem Nicht-Photogrammeter erfaßt. Grundlage waren zwei digitalisierte schwarz-weiß Stereoluftbilder. Ausschnitte der Stadt, wie der in Abbildung 7 dargestellte Straßenzug wurden mit Textur aus den Luftbildern versehen.

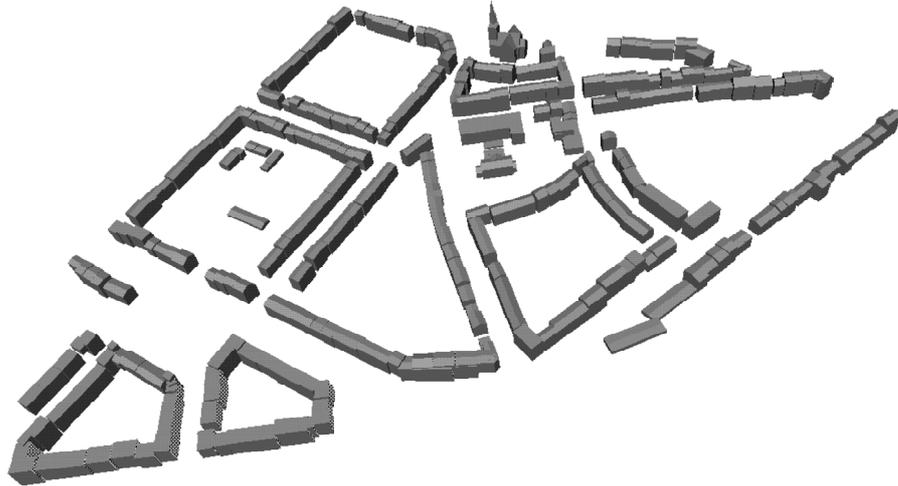


Abbildung 6: Ein Teil der erfaßten Gebäudemodelle in Rostock (Reine Erfassungszeit nur ca. 15 Stunden). Die Daten wurden von S. Bartel, Uni Rostock zur Verfügung gestellt, die auch die Auswertung durchgeführt hat.



Abbildung 7: Eine Häuserzeile in Rostock ist mit Textur aus den Luftbildern versehen.

#### 3.2 Einzelbildverarbeitung

Unter besonderen Bedingungen reicht ein Luftbild wie in Abb. 8 (oben) zu sehen aus, um ein Stadtmodell (Abb. 8, Mitte) zu erzeugen. Bild- und Orientierungsdaten wurden von der Fa. Hansa Luftbild zur Verfügung gestellt. In diesem speziellen Fall war die Bodenhöhe gegeben. Mit Hilfe der beschriebenen Texturextraktion wurde eine texturierte Gesamtansicht erzeugt, die im VRML-Browser dargestellt werden kann (Abb. 8, unten). Zu beachten ist, daß Bodenfläche und Gebäude mit unterschiedlicher Texturelementgröße dargestellt sind. In Abb. 9 sind eine horizontale Ansicht (oben) und eine schräge Ansicht (Mitte) zweier Gebäude zu sehen. Deutlich ist zu erkennen, daß sowohl Vordächer als auch Straßenmobiliar wie Fahnenmasten und Beleuchtungseinrichtungen erfaßt wurden. Auch Vegetation wurde in 3D modelliert und ist in Abb. 9 unten zu sehen.

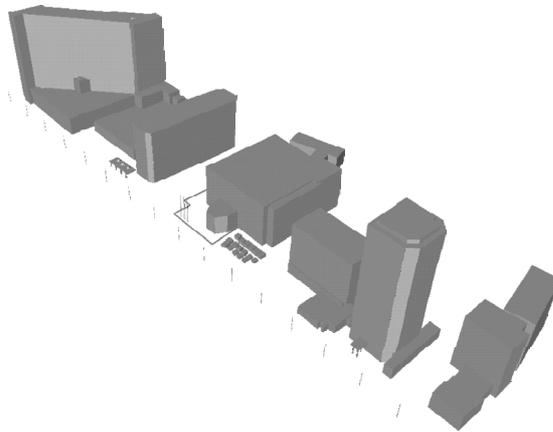


Abbildung 8: Oben: Luftbildausschnitt (Copyright Luftbild: Aufnahme Hansa Luftbild GmbH). Mitte: Extrahierte Gebäude- und Objektmodelle (bei bekannter Bodenhöhe aus nur einem Bild. Unten: 3D-Gesamtansicht der extrahierten Gebäude (0.2 m Texturelementgröße) mit Teilen der Straßenfläche und Vegetation (1.5 m Texturelementgröße)

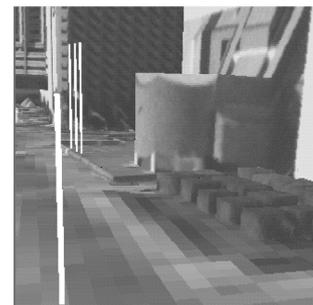
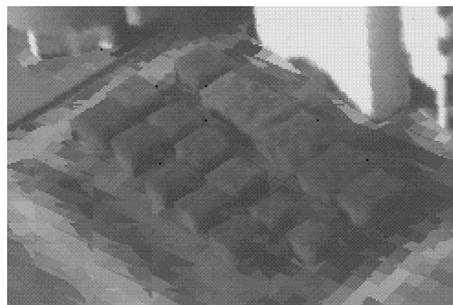


Abbildung 9: Oben: Horizontale Ansicht. Mitte: Detailansicht aus erhöhter Position. Es sind Gebäude, Fahnenmasten, Vegetation und z.T. auch Vorbauten in 3D modelliert. Unten: Zwei Ansichten der geometrisch modellierten Vegetation (hier nur einfache Quader). Die Texturelementgröße für ausgesuchte Objekte beträgt 0.2 m, sonst 1.5 m.

## 4 Schlußbemerkungen

Photogrammetrische Verfahren für die Erfassung von 3D-Stadtmodellen haben in den letzten Jahren eine Blüte erlebt. Das hier vorgestellte Verfahren zur Nutzung der Digitalen Bildanalyse weist in Richtung auf weitere Effizienzsteigerung hin. Mit der neuen Möglichkeit der integrierten Entzerrung von Nahbereichsaufnahmen und der wählbaren Auflösung der Texturdetails werden neue Anwendungsmöglichkeiten eröffnet. Neben dem Gebäudebestand kommt vor allem der Vegetation, aber auch anderen dreidimensionalen Objekten, wie etwa dem Straßenmobiliar, eine zunehmend größere Bedeutung zu. Wir erwarten daher eine sehr viel breitere Nutzung photogrammetrischer Verfahren zur Datenerfassung in der Stadtplanung und für Virtual Reality Anwendungen.

## Danksagung

Das Projekt wird von der DLR/(DARA GmbH) unterstützt (50 TT 9733). Die Autoren danken der Fa. Hansa Luftbild für das Dubai Bildmaterial.

## Literatur

- Gülch, E. (1997). Application of semi-automatic building acquisition. In A. Grün (Ed.), *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (II)*. Birkhäuser, Basel.
- Gülch, E. and II. Müller (1997). Object-oriented software design in semiautomatic building extraction. In *Proceedings Integrating Photogrammetric Techniques with Scene Analysis and Machine Vision III, Orlando, Florida, April. SPIE Vol. 3072*.
- Gülch, E., II. Müller, T. Läbe, and L. Ragia (1998). On the performance of semi-automatic building extraction. In *Proceedings ISPRS Symposium, Comm. III, Columbus, Ohio, USA*.
- Läbe, T. and E. Gülch (1998). Robust techniques for estimating parameters of 3D building primitives. In *Proceedings ISPRS Symposium, Comm. II, Cambridge*.
- Müller, II. (1998). Object-oriented modeling for the extraction of geometry, texture and reflectance from digital images. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. ISPRS Commission IV Symposium, Stuttgart, September 6-10. Accepted for publication.