



Das dreidimensionale digitale Stadtmodell Wien – Erfahrungen aus einer Vorstudie

Michael Gruber ¹, Stephan Meissl ², Rainer Böhm ³

¹ *Institut für Computerunterstützte Geometrie und Graphik, Technische Universität Graz, Münzgrabenstrasse 11, 8010 Graz*

² *Institut für Computerunterstützte Geometrie und Graphik, Technische Universität Graz, Münzgrabenstrasse 11, 8010 Graz*

³ *Institut für Computerunterstützte Geometrie und Graphik, Technische Universität Graz, Münzgrabenstrasse 11, 8010 Graz*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **83** (1–2), S. 29–36

1995

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Gruber_VGI_199504,  
  Title = {Das dreidimensionale digitale Stadtmodell Wien -- Erfahrungen aus  
          einer Vorstudie},  
  Author = {Gruber, Michael and Meissl, Stephan and B{"o}hm, Rainer},  
  Journal = {VGI -- {"O}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
            Geoinformation},  
  Pages = {29--36},  
  Number = {1--2},  
  Year = {1995},  
  Volume = {83}  
}
```



5. Zusammenarbeit von VOGIS mit GEM-GIS

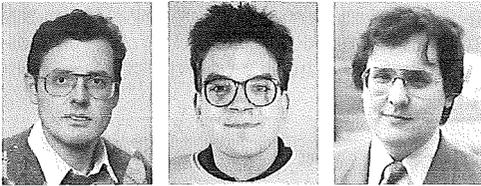
In Vorarlberg wird in einem Projekt des Vorarlberger Gemeinderechenzentrums unter Mitarbeit von Vertretern der Landesregierung, der Vorarlberger Kraftwerke AG und den Gemeinden gemeinsam mit einer Softwarefirma die Programmierung des GEM-GIS durchgeführt. GEM-GIS ist eine GIS-Applikation auf Basis AutoCAD-ArcCad für Gemeinden. Die Programmierung erfolgt nach dem Kriterienkatalog, welcher in diesem Projekt ausgearbeitet wurde und die wesentlichsten Bedürfnisse der Vorarlberger Gemeinden abdeckt. GEM-GIS ist auf PC-Betrieb ausgelegt. Auf einen reibungslosen Datenaustausch mit dem VOGIS wurde speziell Bedacht genommen. Im ersten Quartal 1995 wird GEM-GIS fertiggestellt und steht dann den Gemeinden zur Verfügung.

6. Schlußbemerkung

Mit VOGIS soll ein Beitrag zur Verbesserung der Verwaltung in Vorarlberg geleistet werden. Fragen, wie Wo ist die Parzelle 895?, Welche Widmung hat diese Parzelle?, Liegt die Parzelle in einem Naturschutzgebiet?, Liegt die Parzelle in einer Lärmzone eines Verkehrsweges?, Liegt die Parzelle im Versorgungsgebiet von EVU's? werden mit Hilfe von VOGIS schnell und sicher beantwortbar sein. Durch Festlegung von in der Verwaltung verwendeten Fakten in Form von Karten und Plänen im VOGIS, die derzeit noch für ein Verfahren zusammengestellt oder gutachtlich erhoben werden müssen, sind in Zukunft wesentliche Verbesserungen zu erwarten.

Anschrift des Autors:

Dipl.-Ing. Jörg Purkhart, Römerstraße 15, A-6900 Bregenz.



Das dreidimensionale digitale Stadtmodell Wien Erfahrungen aus einer Vorstudie

Michael Gruber, Stephan Meissl, Rainer Böhm, Graz

Zusammenfassung

Die digitale Beschreibung des dreidimensionalen Ensembles „Stadt“ durch zweidimensionale oder „zweieinhalbdimensionale“ Datensätze und Datenstrukturen wird zunehmend als unzureichend erkannt. Wichtige Zusammenhänge zwischen Objekten und Eigenschaften von Objekten gehen verloren oder können aus den Daten nicht abgeleitet werden. In einer Studie wird an einem Beispiel aus dem 7. Wiener Gemeindebezirk gezeigt, wie die Erweiterung der zweidimensionalen Daten zu einem dreidimensionalen digitalen Stadtmodell erfolgen könnte. Dabei wurde auf eine photorealistic Darstellung und mögliche Interaktion mit den Daten Wert gelegt. Der Ausblick auf Automatisierung bei der Datenerfassung und Modellherstellung sowie eine mögliche Anwendung auf den gesamten Wiener Stadtbereich beschließen den Beitrag.

Abstract

This paper presents the results of a pilot-project, which was carried out to develop and test a procedure to create a photorealistic 3D digital model of a city-block consisting of 28 houses in the 7th district of Vienna. In many applications of modern concepts in city planning, such 3D models will offer new possibilities like interactive visualization of the dataset and effective data manipulation. The multiple input dataset for our approach consists of 2D GIS data, aerial photographs and photos of the fronts of the buildings taken from street level. A merging of the GIS data with the aerial photographs results in 3D geometric models of the buildings. Furthermore, the image data are used to extract textures for roofs and fronts of the buildings. After the application of several preprocessing steps a photorealistic 3D impression is archived by texture mapping. Real time visualization and interaction with the dataset requires the use of a high end graphics workstation.

1. Einleitung

Kommunale Informationssysteme auf digitaler Basis werden gegenwärtig standardmäßig als Grundlage städtischer Administration einge-

setzt. Die Anforderungen an diese Systeme sind vielfältig, die verwalteten Daten umfangreich und komplex [1]. Der Bezug zwischen den Informationen und ihrer geographischen Lage wird durch das GIS (geographisches Informa-

tionssystem) hergestellt und damit ist eine Projektion der Daten auf eine Karten- oder Planebene möglich. Die Visualisierung der Daten in dieser Ebene ist relativ einfach, der Verlust der Dreidimensionalität wird hingenommen und schon bei der Datenerfassung wird die dritte Dimension im Hinblick auf die zweidimensionale Darstellung vernachlässigt.

Tatsächlich sind die Objekte und Einbauten einer Stadt dreidimensional. Gebäudehöhen, Dachformen, die Lage von Versorgungsleitungen oberhalb und unter der Erde und nicht zuletzt das Niveau des Terrains werden zweidimensional nur unzureichend beschrieben. Eine zusätzliche Kote als Erweiterung zu einer „zweieinhalbdimensionalen“ Lagebeschreibung wird als Ausweg gerne beschritten. Die zugrundeliegende Datenstruktur bleibt jedoch davon weitgehend unbeeinflusst.

Das dreidimensionale digitale Stadtmodell hat daher als vordringliche Aufgabe den zweidimensional organisierten, teilweise dreidimensionalen Datenbestand auf die Basis einer dreidimensionalen Datenstruktur zu heben. Daraus ergeben sich grundlegende Änderungen und Anforderun-

gen bei der Datenerfassung sowie bei der Interaktion und Visualisierung. Aus dem Plan wird eine 3-D Graphik, die von Linien dominierte Darstellung wird auf flächenhafte Facetten umgestellt und die relativ einfachen Grundrißdarstellungen der Gebäude werden durch eine körperhafte Objektbeschreibung ersetzt. Und eine zusätzliche Erweiterung wird sinnvoll und notwendig: die Einbeziehung von photorealistischer Textur aus Bildern für die Darstellung der Hausfassaden, Dachflächen und Objekte des städtischen Ensembles.

Erst durch diese Erweiterung wird das dreidimensionale Modell mit der Individualität der repräsentierten Objekte ausgestattet und verliert den Charakter einer Baukastenwelt. Zwar wird dadurch die Quantität der Daten vervielfacht und damit auch die technische Anforderung für deren Verwaltung, der Qualitätsgewinn bei der interaktiven Anwendung des Modells ist jedoch enorm.

In einer Vorstudie wurde versucht, die Umsetzung der zweieinhalbdimensionalen Daten der Wiener Mehrzweckkarte (MZK) in eine dreidimensionale Datenstruktur und die photorealisti-

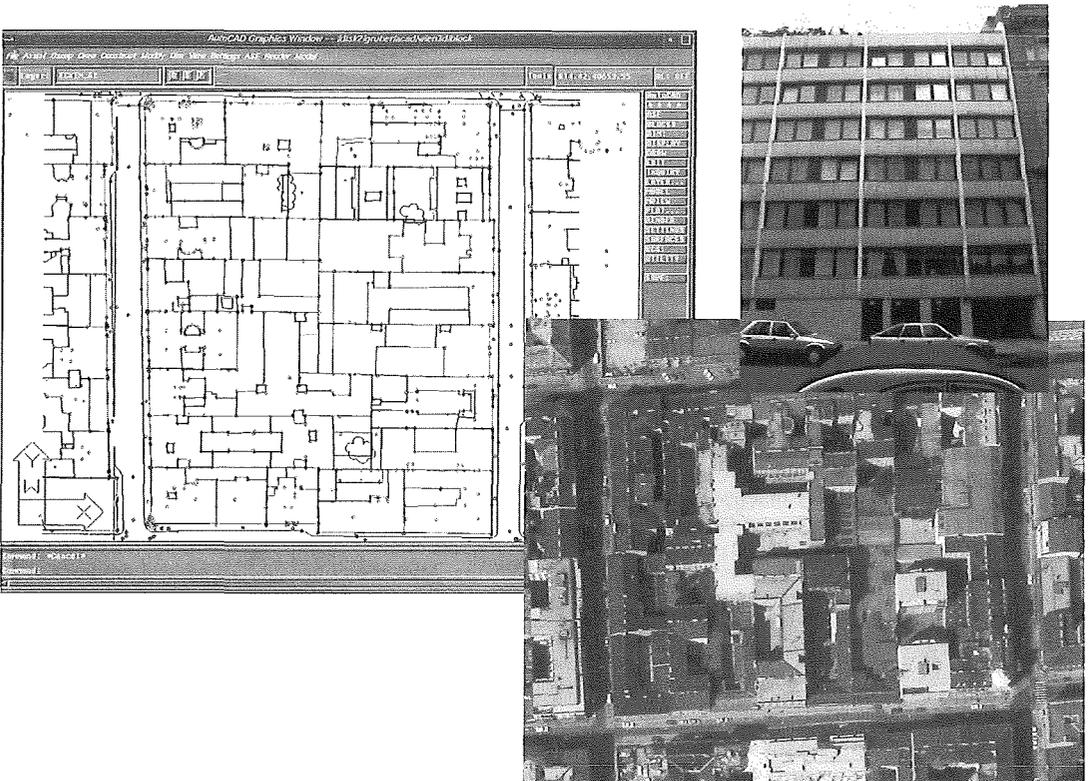
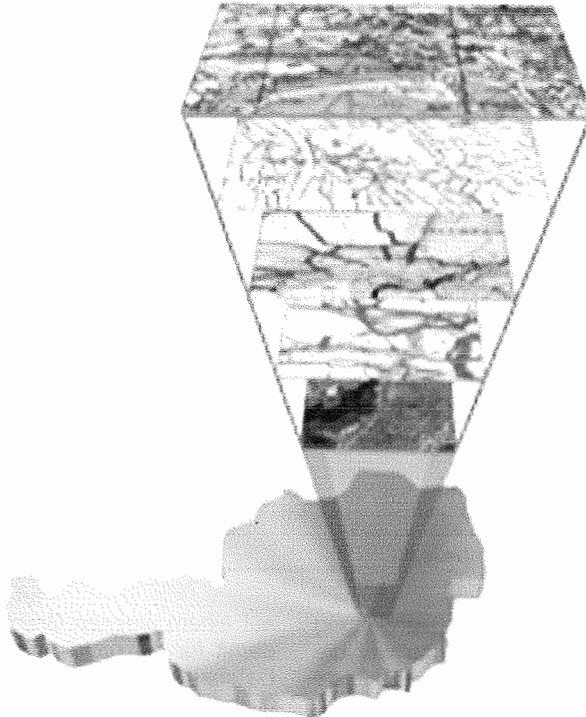


Abb.1: Datenbestand: a) MZK, b) Luftbild, c) Fassadenaufnahme

GRAZER GEOINFORMATIK- TAGE '95



GIS in Transport und Verkehr
TU Graz 27. - 28. April 1995

Auskünfte:

GRINTEC
Geographische + geoinformations-
technologie-orientierte
Informations-Produkte & S. H.
(0316) 38-37-06-0

mggi
Geographische + geoinformations-
technologie-orientierte
Informations-Produkte & S. H.
TU Graz

sche Darstellung anhand eines räumlich begrenzten Gebietes aus dem 7. Wiener Gemeindebezirk (Neubau) durchzuführen.

2. Vorstudie: Wien – Neubau

Im Frühjahr 1994 wurde am Institut für Computerunterstützte Geometrie und Graphik (Technische Universität Graz) ein Bereich in Wien-Neubau dreidimensional modelliert und mit Hilfe von Bilddaten photorealistisch texturiert. Es handelt sich dabei um den Häuserblock zwischen Burggasse, Schottenfeldgasse, Kandlgasse und Zieglergasse. Das Gebiet ist ca. 160 m lang und 125 m breit, umfaßt 28 Gebäude im Inneren des Blocks und etwa ebensoviele in den angrenzenden Häuserblöcken (siehe Tabelle 1). Als Datengrundlage wurde der entsprechende Ausschnitt aus der Wiener

3. Datenbestand und Vorverarbeitung

Für die Modellierung des Studiengebietes standen drei Kategorien von Daten zur Verfügung bzw. wurden im Rahmen der Arbeit erhoben (siehe Abbildung 1):

- Geometriedaten:
 - MZK Wien (Gebäudegrundrisse, Traufenlinien, Höhenkoten, Einbauten)
 - Luftbildauswertung (Dachflächen, Gebäude- und Traufenhöhen)
- Bilddaten:
 - Luftbilder der Stadtvermessung (23 x 23 cm Farbdias, 1:7000)
 - Aufnahmen der Hausfassaden (ca. 100 Kleinbilddias, 1:700–1:1000)
- Kollaterale Daten:
 - MZK Wien (Straßennamen, Hausnummern etc.)
 - Orientierungsdaten der Luftbilder

Pilotstudie Wien-Neubau

Anzahl der texturierten Flächen	76
Anzahl der innenliegenden Gebäude	28
Anzahl der autonomen 3-d Objekte	58
Anzahl der konvexen Polygone	ca. 1000
Länge der Verkehrswege im Modell	ca. 560 m
Anzahl der photographischen Aufnahmen	ca. 100
Speicherbedarf der Bilddaten	12 Megabyte
Speicherbedarf der Geometriedaten	0.25 Megabyte
Pixelgröße der digitalisierten Bilder	0.020 mm
Pixelgröße der Textur im Objekt	ca. 5 cm

Tab. 1: Eckdaten der Pilotstudie Wien-Neubau

Mehrweckkarte [2] von der Stadtverwaltung zur Verfügung gestellt. Ziel der Studie war die Umsetzung der GIS-Daten der Mehrweckkarte in eine dreidimensionale Struktur und der Bau eines digitalen Modells unter Einbeziehung von Bilddaten. Die Interaktion mit dem Modell sollte die freie Wahl von Standort und Blickrichtung erlauben, d.h. eine „Begehung“ der Szene und die Generierung beliebiger Ansichten gewährleisten.

Software

Datenübernahme und 2-d Editor:	AutoCAD
Retusche der digitalisierten Bilder:	Adobe Photoshop
Erstellen von Texturkoordinaten:	TDT (Eigenentwicklung)
Farbkorrektur in den Phototexturen:	CCT (Eigenentwicklung)
Erstellen des texturierten 3d-Modells:	Medit
Echtzeitvisualisierung:	SGI Performer

Tab 2 : Verwendete Software-Werkzeuge

Die Datenaufbereitung erfolgte für die Geometriedaten mit konventionellen Hilfsmitteln. Die Daten der MZK sowie die photogrammetrische Auswertung der Dachlandschaft wurde mit AutoCAD zusammgeführt und bearbeitet. Fehlende Höhenkoordinaten wurden durch Interpolation zwischen bekannten Koten errechnet. Die Strukturierung der Daten wurde einfach gestaltet, jedes Gebäude wurde

auf einem eigenen Graphik-Layer abgelegt und damit für die dreidimensionale objektorientierte Datenstruktur des Modell-Editors vorbereitet (siehe Tabelle 2).

Eine etwas aufwendigere Behandlung verlangen die Bilddaten. Grundsätzlich waren zwei Schritte notwendig:

- a) Abtasten der analogen Photos und Erzeugen von digitalen Bildern
- b) Geometrische und radiometrische Aufbereitung, d.h Berechnen von Texturkoordinaten, ebene Entzerrung sowie Angleichung und Korrektur von Farbwerten

Diese Arbeitsschritte wurden mit zwei im Rahmen der Studie entwickelten Programmen durchgeführt:

- a) TDT – Textur Definition Tool erlaubt die Herstellung der Beziehung zwischen Geometriemodell und Textur. Im Falle von orientierten Luftbildern kann direkt anhand der kollinearen Transformation die Texturkoordinaten eines dreidimensionalen Punktes mit dem digitalen Bild überlagert werden und die Textur für eine bestimmte Facette des Modells aus dem Bild „ausgeschnitten“ werden. Bei den nicht orientierten Bildern der Hausfassaden tritt anstelle der Punktauswahl die Messung der Texturkoordinaten. Darauf folgt eine ebene Entzerrung und bei größeren Fassaden auch eine Verbindung mehrerer Aufnahmen zu einer Gesamttextur.
- b) CCT – Color Correction Tool wurde entwickelt um den unterschiedlichen Sättigungsgrad der Farben in den Fassadenbildern zu korrigieren. Diese Maßnahme war notwendig, da in engeren Straßenzügen die Lichtverhältnisse entlang der Gebäudehöhen variieren (Abschattung durch die gegenüberliegende Häuserzeile). Das Programm bedient sich dabei der IHS-Transformation der Farbwerte und kann durch interaktives Setzen von Interpolationspunkten den Farbausgleich durchführen.

Um die Kompatibilität und Portabilität der verschiedenen Datensätze zu garantieren, wurde im Laufe der Arbeiten eine Reihe von kleineren Programmen implementiert, deren Aufgabe darin bestand, Datensätze zwischen den einzelnen Programmen zu übergeben.

4. Erstellung des dreidimensionalen Modells

Der Zusammenbau des digitalen Modells erfolgte mit dem Modelleditor Medit. Die aus den Geometriedaten der MZK und der photogrammetrischen Auswertung gebildeten dreidimensionalen Objekte (Gebäude) wurden mit den Texturdateien für Dachflächen und Fassaden verbunden (siehe Abbildung 2). Abgesehen von kleineren interaktiven Korrekturen (z.B. Hinzufügen von Giebelflächen) war damit der Modellbau abgeschlossen und der gesamte digitale Datensatz (Geometriemodell und photorealistische Textur) verfügbar. Jetzt wurde auch die Strukturierung der Modelldaten festgelegt. Jedes Gebäude wurde als autonomes dreidimensionales Objekt generiert. Die Geometriedaten beinhalten die dreidimensionalen Koordinaten der einzelnen Punkte, die Liste der Flächenindizes sowie die Liste der Texturkoordinaten und den Verweis auf die entsprechende Textur in der Texturtable.

Eine grundlegende Frage bei der Erstellung photorealistisch texturierter digitaler Modelle ist die geometrische Auflösung der Texturdaten. Aus der Sicht des Nutzers ist eine hohe Auflösung natürlich wünschenswert. Die Anforderungen an die eingesetzte EDV-Anlage ist aber wesentlich von der Menge der Texturdaten abhängig. Besonders für eine Anwendung in Echtzeit ist die Reduktion der Daten auf ein notwendiges Minimum unumgänglich. In der hier beschriebenen Pilotstudie wurde darauf Rücksicht genommen, indem Phototexturen nur für Dachflächen und straßenseitige Fassaden vorgesehen wurden. Verkehrsflächen und hoftseitige Fassaden wurden mit Standarttexturen belegt. Zusätzlich konnte durch eine geringere Auflösung bei Dachflächen eine Einsparung zugunsten der Fassaden erreicht werden (siehe Tabelle 1). Die für die Texturen herangezogenen Quellenbilder würden eine weit höhere Auflösung erlauben. Für Einzelansichten kann diese Qualität schon heute genutzt werden, bei Echtzeitinteraktion ist eine weitere Entwicklung am Hardware-Sektor abzuwarten.

5. Interaktion und Visualisierung

Ein Ziel der Studie war die Visualisierung der Daten in Echtzeit und damit die Möglichkeit der direkten Interaktion. Diese Aufgabe bedarf durch die relativ große Datenmenge der Phototexturen überdurchschnittlicher Graphikleistungen bei den eingesetzten Computern. Mindestens 25 Bilder der Szene müssen pro Sekunde aus den Geometrie- und Texturdaten berechnet werden (siehe Tabelle 3). Diese Aufgabe wurde vom Graphikhochleistungsrechner ONYX des amerikanischen Computerherstellers Silicon Graphics bewältigt, ohne kompatible Daten- und Softwarekonzepte zu verlassen. Die Übernahme des auf wesentlich einfacheren Maschinen (SGI Indigo) erstellten Datensatzes war daher ohne Konvertierung möglich. Die Interaktion mit dem dreidimensionalen Stadtmodell ist einerseits durch die freie Navigation im texturierten Modell möglich (Wahl von Standort und Blickrichtung sowie der Bewegung durch das Modell), andererseits ist eine Veränderung der Szene durch Austauschen von Objekten (Gebäuden), Verändern derselben (Umbau, Änderung der Höhe oder Farbe etc.) oder Darstellung von eigentlich unsichtbaren Einbauten (Kanalsystem) leicht durchzuführen.

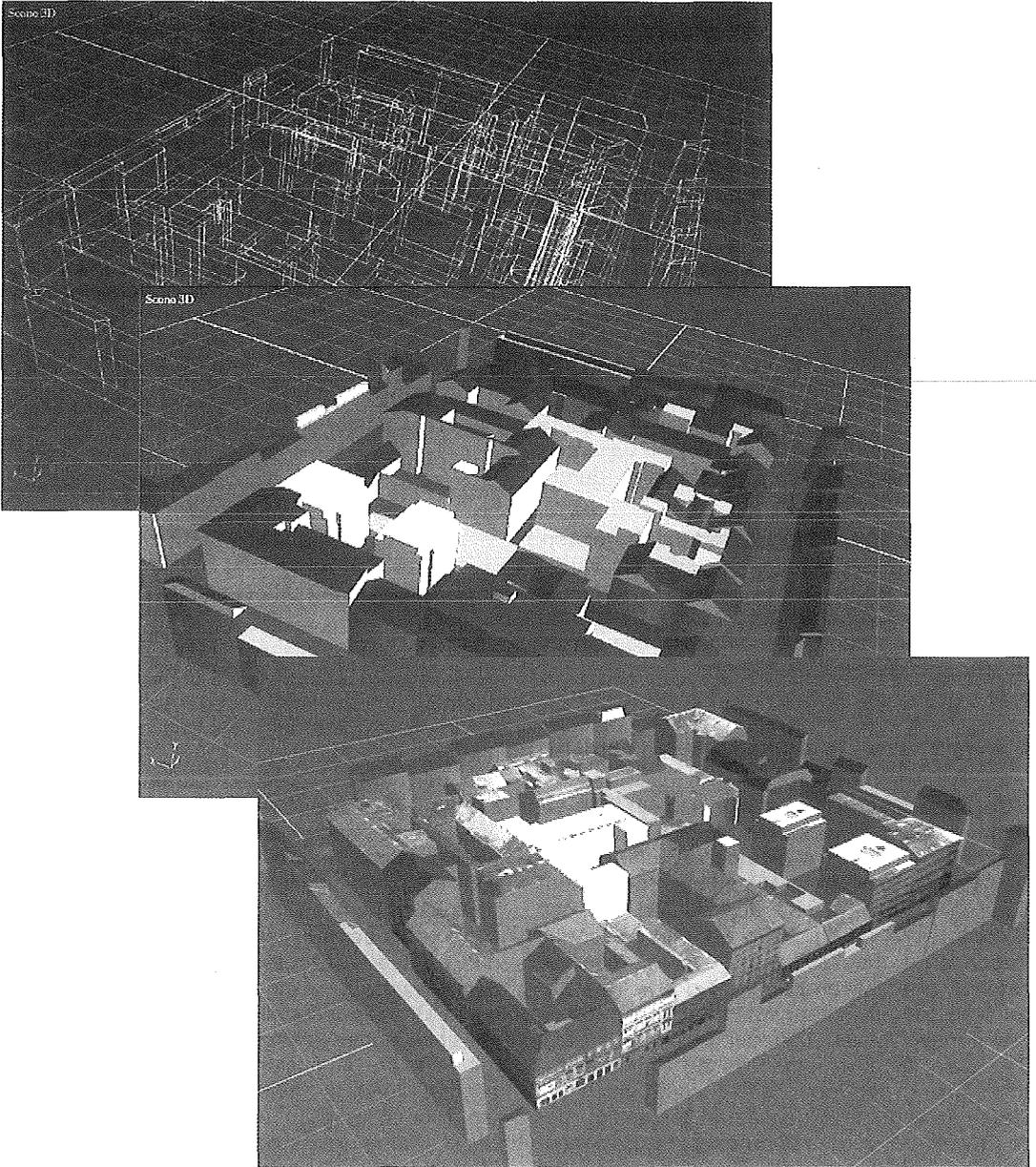


Abb. 2: Darstellungsformen: a) Drahtmodell, b) Flächenmodell, c) photorealistisch texturierte Szene

6. Entwicklungsziele

In der Pilotstudie wurde in wichtigen Phasen manuell gearbeitet. Ein vorrangiges Ziel der Entwicklung ist daher die Automatisierung bei der Datenerfassung und bei der Objektrekonstruktion, d.h. bei der automatisierten Aufnahme der Fassaden und bei der automatischen Rekonstruktion der Gebäudeformen.

Die Entwicklung von Methoden zur automatischen Erfassung von Gebäuden aus Luftbildern schreitet rasch voran. Ermutigende Ergebnisse werden unter anderen von Förstner [3], Gülch [4] sowie von Shufelt und McKeown [5] vorgestellt. Ein weiterführender Beitrag kann die Integration der verschiedenen Ansätze sowie die Einbeziehung bereits vorhandener Geometriedaten, der Fassadenaufnahmen aus dem Straßenniveau und anderer Daten in den Rekonstruktionsvorgang sein.

Ein weiterer Schritt in der Entwicklung der digitalen Objektbeschreibung wird die Umsetzung der radiometrischen Information aus Bilddaten in eine Materialbeschreibung der Objektoberfläche sein. Gleichzeitig kann damit eine sehr deutliche Reduktion der noch zu umfangreichen digitalen Bilder einhergehen und in einer geeigneten Datenstruktur mit den Geometriedaten das dreidimensionale Stadtmodell bilden.

7. Anwendungen

Die photorealistische Texturierung des dreidimensionalen Modells ist mit erheblichem Aufwand bei der Datenerfassung und der Visualisierung verbunden. Wird das Modell im Zuge eines städtebaulichen Vorhabens zur Darstellung des zukünftigen Projektes benützt, so ist dieser Mehraufwand gerechtfertigt.

Die interaktive Nutzung des dreidimensionalen Modells ist im Vergleich zur zweidimensionalen Karte ungleich schwieriger, wenn die Darstellung nicht mit Hilfe von Phototextur erfolgt. Die Individualität der Objekte geht bei Flächenmodellen verloren (siehe Abbildungen 2b und 4a). Der Aufwand für die dreidimensionale Erfassung wäre kaum gerechtfertigt. Durch den hohen Informationsgehalt der Bilddaten wird diese Mehrarbeit bei der Datenerfassung und Umsetzung wettgemacht, das digitale Modell ist in seinem Wert gestiegen.

Will man diesen Überlegungen folgen und kann die geplante Entwicklung erfolgreich vorangetrieben werden, dann ist der Schritt vom 2-d GIS zum dreidimensionalen Stadtmodell vollziehbar und die heutigen Anwendungen und Anforderungen an das derzeit in Verwendung stehende Planwerk können auf das neue Modell übertragen werden. Abgesehen von dieser An-

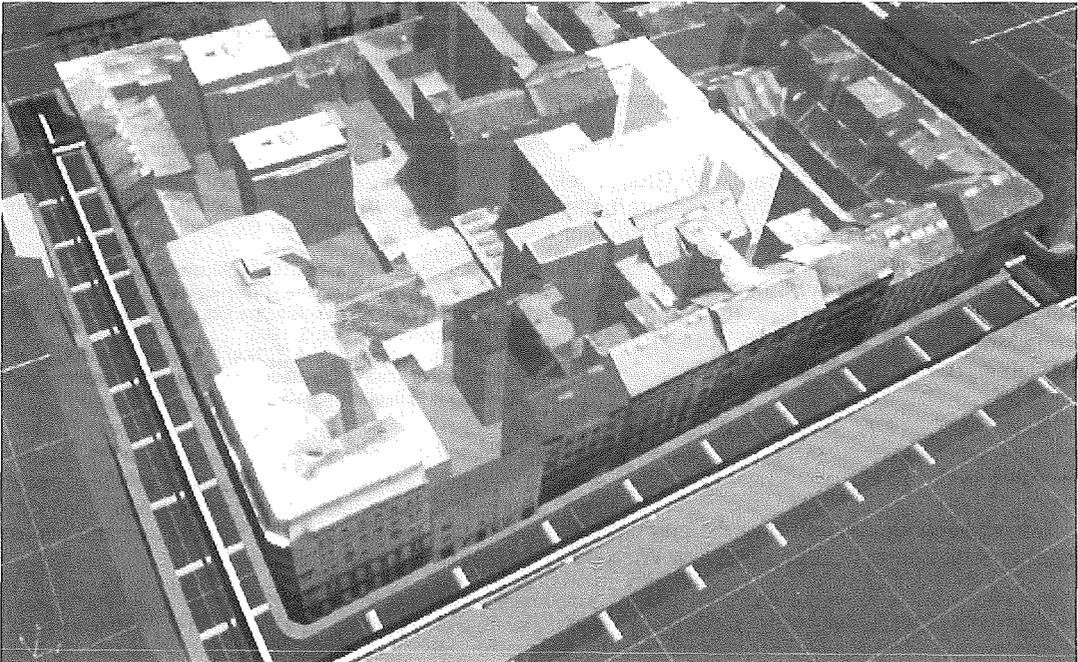


Abb. 3: Szene mit eingeblendetem Kanalsystem

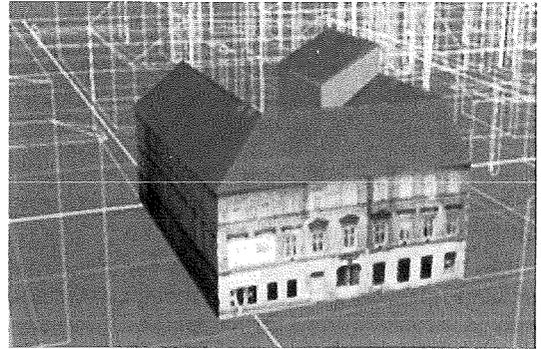
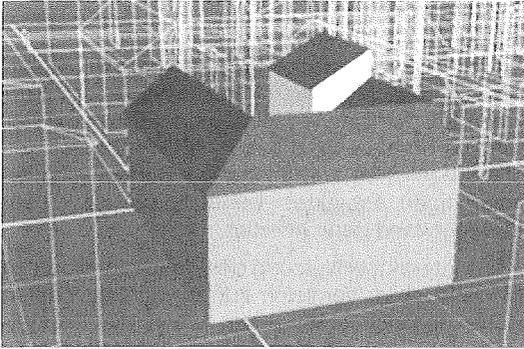


Abb 4: Einzelgebäude als a) Flächenmodell und b) mit Phototextur

Hardware

Modellbau: Silicon Graphics	Indigo mit R4400 Prozessor 64 Mbyte RAM XZ Graphik 24 bit Farbe, 190k Dreiecke Gouraud-Schattierung
Echtzeitvisualisierung und Interaktion mit dem texturierten Modell Silicon Graphics	Onyx mit 2 R4400 Prozessoren 128 Mbyte RAM RealityEngine2 Graphik 24 bit Farbe 900k texturierte Dreiecke

Tab 3: Verwendete Graphikrechner

wendung aus dem Bereich der Stadtverwaltung ist eine weitere Nutzung der so erzeugten „Cyber-Städte“ wohl kaum begrenzbar.

Es bleibt abzuschätzen, welche Dimensionen die Modellierung des gesamten Wiener Stadtgebietes erreichen würde. Eine einfache Hochrechnung vom Pilotprojekt auf die Größe der Stadt (ca. 1 : 8000) führt zu einer Gesamtarbeitszeit von 400 Personenjahren. Geht man von einem Beschleunigungsfaktor von 30–40 aus (Entwicklungen in der Automatisierung und am Hardwaresektor), dann würde die photorealistische Modellierung von Wien in 10 bis 12 Personenjahren durchführbar sein.

8. Dank

Der vorliegende Beitrag und die zugrundeliegenden Arbeiten mit Daten der Stadt Wien hät-

ten nicht ohne die Kooperationsbereitschaft und Hilfe der einschlägigen Abteilungen des Wiener Magistrates durchgeführt werden können. Dafür sei an dieser Stelle herzlicher Dank ausgesprochen. Der Firma Silicon Graphics Computersysteme GesmbH sei für die Bereitstellung des ONYX-Arbeitsplatzes und für organisatorische und fachliche Hilfe gedankt.

Dieses Projekt wurde teilweise aus Mitteln des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung finanziert.

Literatur

- [1] Wilmersdorf (1994), Anforderungen an ein kommunales Geoinformationsmanagement, VGI, Heft 1+2, 1994.
- [2] Belada (1994), Die Mehrzweckstadtkarte, geometrische Grundlage für das Wiener GIS-Stand des Projektes, VGI, Heft 1+2, 1994.
- [3] Förstner, R. Pallaske (1993), Mustererkennung und 3-d Geoinformationssysteme, ZPF, Heft 5, 1993.
- [4] Gülch (1993), Automatisierung der Kartierung aus digitalen Luftbildern, ZPF, Heft 5, 1993.
- [5] Shufelt, D. McKeown, jr. (1993), Fusion of Monocular Cues to Detect Man-Made Structures in Aerial Imagery, CVGIP Image Understanding, Vol. 57, No. 3, 1993.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Michael Gruber, Stefan Meissl, Rainer Böhm, Institut für Computerunterstützte Geometrie und Graphik, Technische Universität Graz, Münzgrabenstrasse 11, 8010 Graz.