



Von 2D und 2.5D GIS-Daten bis zum 3D Stadtmodell

Xiaoming Xu ¹, Klaus R. Müller ², Günther Lorber ³

¹ *Magistrat Graz, Abteilung 10/6, Stadtvermessungsamt, Kaiserfeldgasse 25, A-8010 Graz*

² *Müller Systemtechnik Vertriebs-GmbH, Bahnhofstraße 26, D-82223 Eichenau bei München*

³ *Magistrat Graz, Abteilung 10/6, Stadtvermessungsamt, Kaiserfeldgasse 25, A-8010 Graz*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **85** (1), S. 2–8

1997

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Xu_VGI_199701,  
Title = {Von 2D und 2.5D GIS-Daten bis zum 3D Stadtmodell},  
Author = {Xu, Xiaoming and M{"u"}ller, Klaus R. and Lorber, G{"u"}nther},  
Journal = {VGI -- {"0"}sterreichische Zeitschrift f{"u"}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {2--8},  
Number = {1},  
Year = {1997},  
Volume = {85}  
}
```





Von 2D und 2.5D GIS-Daten bis zum 3D Stadtmodell

Xiaming Xu, Klaus R. Müller, Günter Lorber, Graz

Zusammenfassung

Dieser Bericht präsentiert ein Verfahren, ein computergestütztes 3D-Modell einer Stadt („virtuelle Stadt“) auf Basis vorhandener 2D bzw. 2.5D GIS (Geographisches Informations-System)-Daten herzustellen. Das Verfahren verwendet die GIS-Daten im originalen Zustand ohne irgendwelche Aufbereitungsarbeiten. Die Konvertierung und der Zusammenfluß der GIS-Daten werden semi-automatisch durchgeführt, d.h. die Generierung des geometrischen 3D Stadtmodells erfolgt automatisch mit Eingriffsmöglichkeiten des Benutzers. Erfahrungen und Ergebnisse aus dem Projekt „Grazer Schloßberg“ werden in diesem Artikel präsentiert.

Abstract

A method is presented, which generates a computer based 3D city model (“virtual city”) out of existed 2D and 2.5D GIS (Geographic Information System) data. The method is using GIS data in the original status without any additional operation. The GIS data conversion and fusion is processed semi-automatically, and the user has the ability to correct data interactively. Experience and Results from the project „Grazer Schloßberg“ are presented in this paper.

1. Einleitung

Der Magistrat der Landeshauptstadt Graz und insbesondere die Magistratsabteilung 10/6 – Stadtvermessungsamt, arbeitet seit Herbst 1985 intensiv an der Erstellung des DIGITALEN STADTPLANES (DSP). Durch die sehr vielseitigen Anforderungen, die an dieses Informationssystem gestellt werden, kommt dem Bereich der Datenerfassung, Datenverwaltung, Datenaktualisierung und Datenvisualisierung ein besonderer Stellenwert zu. Unterhalb dieser Prämisse – und, um anschauliche und auf neuester Technologie basierende Grundlagen für die Darstellung neuer Planungsvorhaben bzw. Nutzungsmöglichkeiten zu haben – wurden seit 1994 mehrere Projekte zur 3D – Stadtmodellierung durchgeführt.

2. Basisdaten

Zur Generierung eines 3D-Stadtmodells stehen folgende Datenquellen zur Verfügung:

- Digitales Geländemodell mit Bruchkanten
- Digitale Katasterdaten
- Terrestrische Messungen
- Photogrammetrische Auswertung

Durch diesen multiplen Datenansatz gewinnt man einerseits wesentlich mehr Informationen über die Realität, andererseits muß darauf geachtet werden, daß keine Inkonsistenzen der Da-

ten auftreten. Darüber hinaus müssen die aus verschiedenen Quellen stammenden Daten nach einer wohldefinierten Logik und auf Basis eines festen Regelwerkes zusammenfließen. Dies erfordert eine genaue Analyse der Eingangsdaten vor der 3D-Erstellung.

2.1 Digitales Geländemodell (DGM)

Für die Berechnung des DGM wird entweder ein Punkthafen mit regelmäßigem Gitterabstand (Projekt Grazer Schloßberg 5m Raster) oder ein Punkthafen aus bereits vorliegenden Auswertungen zur Verfügung gestellt. Bei direkten Messungen wurden etwaige fehlende Punkte, die meistens in unmessbaren Position liegen, mit einem Interpolationsverfahren berechnet.

Die Bruchkanten sind direkt aus dem ausgewerteten Modelle selektiert worden. Bei der Extraktion wurden folgende Objekte ausgewählt: Uferkanten, Böschungskanten, Mauern, Wege, Straßen etc. Nach Einführung der Bruchkanten wird das DGM interpoliert und in Dreiecksma-schen zur Verfügung gestellt.

2.2 Terrestrische Messungen

Im Straßenraum werden die Objekte laut „Grazer Datenkataloges“ (GDK) terrestrisch aufgenommen. Die Höhenangaben beziehen sich auf den Verschnitt der Objekte mit dem Gelände (Abb. 1).

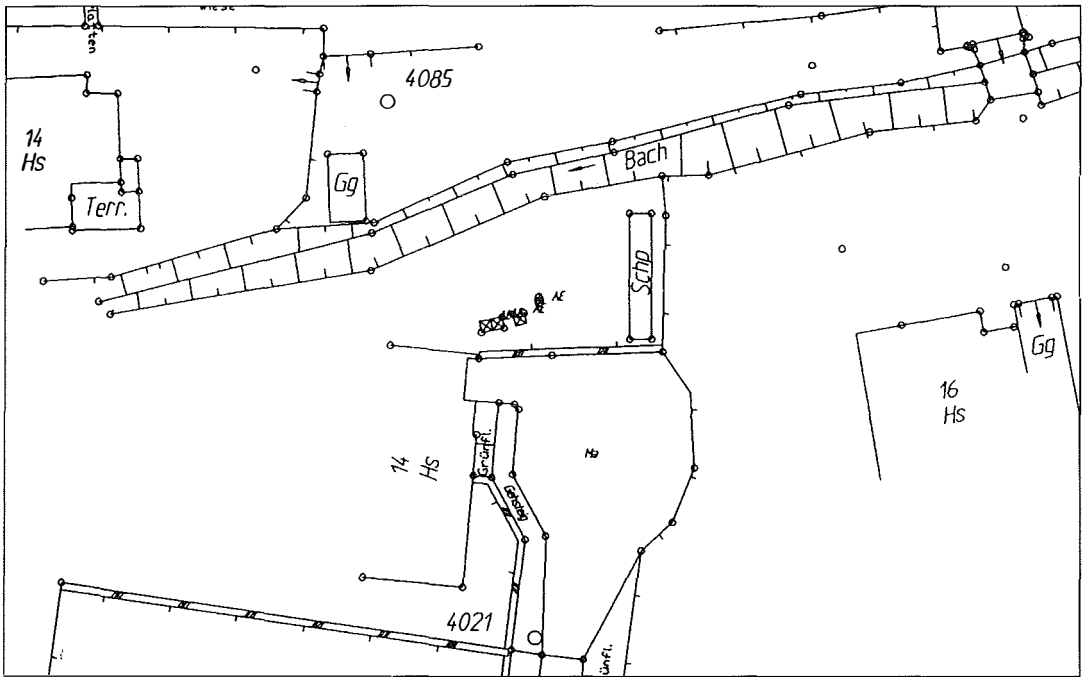


Abb. 1: Naturbestand – terrestrische Aufnahme

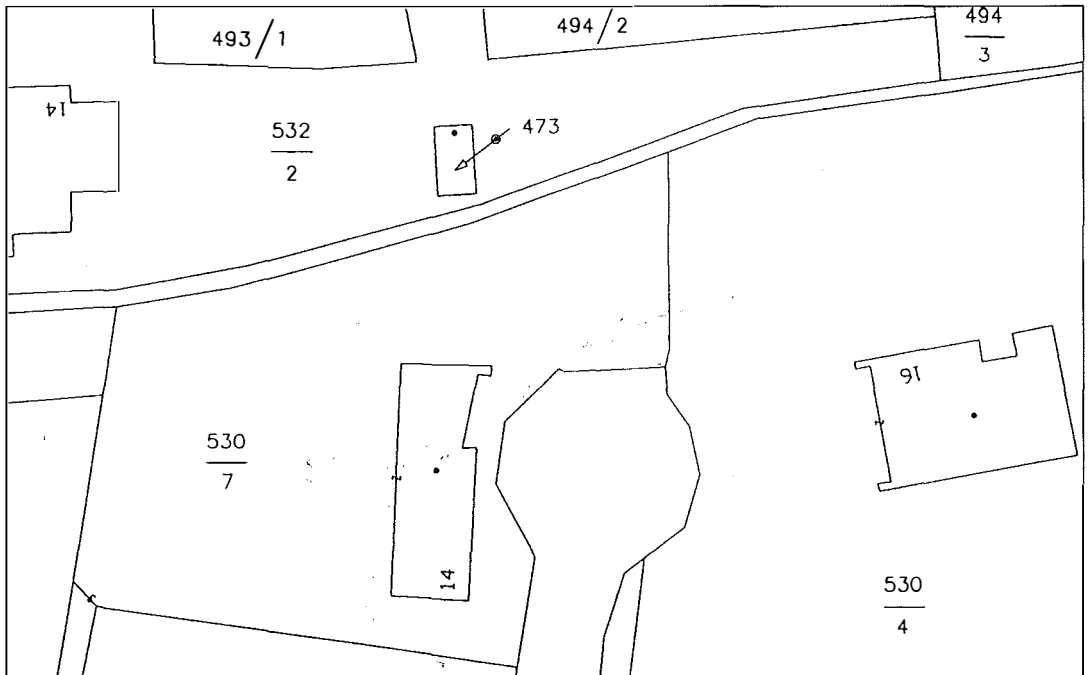


Abb. 2: Katasterdaten

2.3 Digitale Katasterdaten

Aus diesem Datenbestand sind für die 3D-Modellierung nur die Grundstücks- und Gebäudegrenzen relevant. Für die Grundstücke und Gebäude stehen außerdem Flächenelemente zur Verfügung (Abb. 2).

2.4 Photogrammetrische Auswertung

Die Objekte außerhalb des Straßenbereichs einschließlich der Dachformen werden im Rahmen der Luftbildauswertung detailliert erfaßt. Die Rekonstruktion von Dachformen spielt dabei eine entscheidende Bedeutung. Das bedeutet jedoch auch, daß bei der Auswertung eine entsprechende Struktur festgelegt werden muß. Analog der Situation bei den Katasterdaten wird das Gebäude als Fläche abgebildet. Innerhalb dieser Fläche befinden sich verschiedene Objekte, wie z.B. Dachfirst, Dachlinie, Schornstein, Dachfenster, Entlüftung, Gaupe etc. Die Gaupe selbst besteht aus Dachfirst und Dachlinie bzw. aus Dachfirst und der Fläche der Gaupe.

Einzelne Bäume werden als Kreis dargestellt: Der Mittelpunkt des Kreises entspricht der Position des Stamms, während der Durchmesser des Kreises dem Durchmesser der Baumkrone entspricht. Wald oder Baumgruppen werden als

geschlossene Fläche, Grünflächen als Linien und auch Fläche erfaßt.

Die Luftbildauswertung des Gewässerbereiches ist eigentlich sehr schwierig, weil oft die Gewässer mit Grünraum bedeckt sind. Bach und Fluß sind – sofern überhaupt im Luftbild sichtbar – mit Uferlinie dargestellt. Teiche sind meistens als geschlossene Fläche erfaßt worden, sofern sie nicht auch durch Bäume oder Wald bedeckt sind.

Einfriedungen werden an der höchsten Position gemessen. Zusammen mit terrestrischen Messungen und dem DGM kann die Objekthöhe bestimmt werden (Abb. 3).

3. Datenzusammenführung und -konvertierung

Diese beiden Aufgaben werden grundsätzlich getrennt in zwei Phasen behandelt. In der ersten Phase werden die Daten aus verschiedenen Quellen zusammengefaßt. Im Fall eines Gebäudes wird der Grundriß aus Katasterdaten auf das berechnete DGM projiziert, während die entsprechende Dachform aus der photogrammetrischen Auswertung stammt. In der zweiten Phase werden die ausgesuchten Daten mit bestimmten

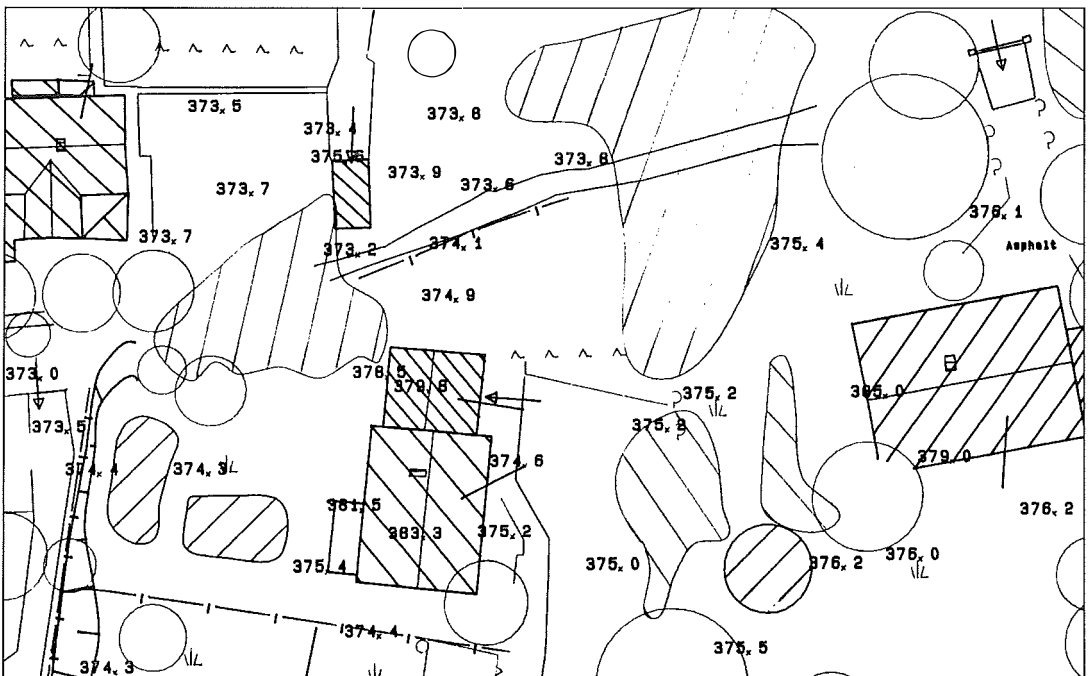


Abb. 3: Naturbestand – photogrammetrische Aufnahme

Regeln und Prioritäten versehen in ein dreidimensionales Modell umgewandelt.

3.1 Datenzusammenführung

Bei der Zusammenführung müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden, nämlich

- (a) rechtliche Priorität
- (b) Reihenfolge der zu verarbeitenden Datenquellen

Unter Punkt (a) versteht man, daß bei der Verwendung der Eingangsdaten die rechtliche Relevanz oberste Priorität hat (z.B. Bebauungsplanung). Punkt (b) besagt, daß die Eingangsdaten

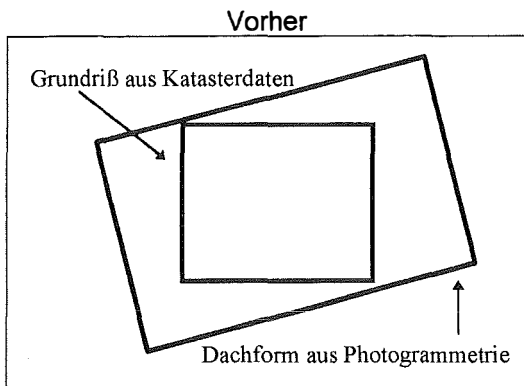


Abb. 4: Anpassung der Daten an Katasterdaten

aber auch hinsichtlich ihrer Genauigkeit verschieden hohe Prioritäten zuzuordnen sind (terrestrische Messungen sind meistens genauer als photogrammetrische Daten).

3.1.1 Rechtliche Priorität

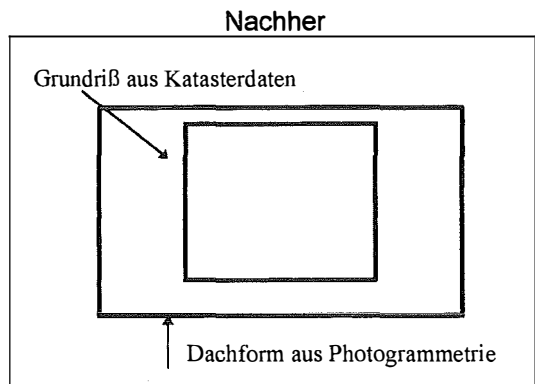
Innerhalb der verschiedenen Datenquellen besitzen die Katasterdaten die höchste Priorität. Wenn etwaige Konflikte vorkommen, müssen die Daten aus anderen Quellen den Katasterdaten angepaßt werden. Ein Beispiel ist in Abbildung 4 enthalten.

3.1.2 Reihenfolge der zu verarbeitenden Datenquellen

Dasselbe Objekt kann durch Daten verschiedener Herkunft beschrieben werden: Ein Zaun kann einerseits durch terrestrische Messung der Unterkante beschrieben werden, aber auch durch photogrammetrische Vermessung (der Zaunoberkante). Sofern die Unterschiede der beschriebenen Positionen bei Berücksichtigung der unterschiedlichen Genauigkeiten unter einer

bestimmte Toleranzgrenze liegen, werden die Daten aus der terrestrischen Vermessung als richtig genommen. Liegen die Unterschiede oberhalb der vom Benutzer definierten Toleranzgrenze, darf der Zaun im 3D-Modell zunächst nicht dargestellt werden. Diese unbehandelbare Stelle ist im 3D-Modell gesondert gekennzeichnet.

Das gleiche Prinzip ist auch auf das DGM anzuwenden: Wenn signifikante Abweichungen in der Höhe aus den verschiedenen Quellen (Photogrammetrie, terrestrische Vermessung) vorliegen, haben die Daten aus den terrestrischen Messungen vorrangige Priorität.



Das Verfahren, verschiedene Datenquellen zur Herstellung eines 3D-Modells zu verwenden, wurde beispielhaft im Projekt „Grazer Schloßberg“ durchgeführt (Titelseite der Zeitschrift).

3.2 Datenkonvertierung

Die Visualisierung der 2/2.5D-Daten hilft zunächst bei der Entscheidung, GIS-Daten nach Kriterien zu selektieren und ggf. auch zu verwerfen. Das Verwerfen von Daten ist nötig, weil sie den Computer während der Begehung in Echtzeit nur belasten würden, ohne zur Aussagefähigkeit des 3D-Modells signifikant beizutragen. In der Praxis ist die Datenzusammenführung ansonsten integraler Bestandteil der 3D-Modellierung.

Nach Definition des rechtlichen Aspekte und der Verarbeitungsreihenfolge werden die Daten in das 3D-Modell konvertiert. Für die Umsetzung der GIS-Daten wurden verschiedene Regeln [2] festgelegt. Beispielhaft sind im Folgenden drei Regeln beschrieben.

Regel 1: Gebäudehöhe: Die Höhe für den Grundriß eines Gebäudes ergibt sich aus dem DGM. Der Gebäudegrundriß ist senkrecht nach oben bis zum Schnitt mit den Dachflächen zu ziehen (Abb. 5).

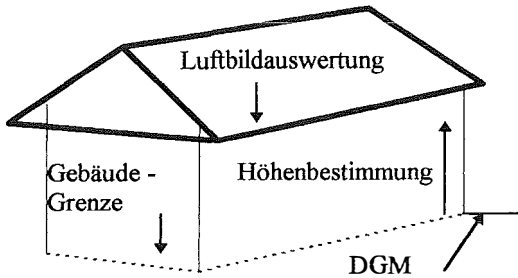


Abb. 5: Bestimmung der Gebäudehöhen

Regel 2: Dachformgenerierung: Die Rekonstruktion der Dachformen einschließlich aller darauf sich befindlichen Objekte wie Schornsteine, Gaupen, Dachfenster, Entlüftungen ist eine komplexe Angelegenheit. Mit entsprechender Farbgebung jedoch läßt sich die Identität einzelner Objekte unterscheiden. Ein Dachfirst wird durch eine blaue Linie repräsentiert, eine Dachlinie durch eine rote Linie, eine Dachtraufe durch schwarze Linien und ein Schornstein durch eine rosa Linie codiert. Auf Basis des logischen Zusammenhanges zwischen diesen einzelnen Elementen läßt sich die Dachform automatisch generieren.

Regel 3: Wald oder Baumgruppen: Bei photogrammetrischer Auswertung werden Wald und Baumgruppen immer als geschlossene Fläche erfaßt. Diese Fläche ist auf das DGM zu projizieren und mit einer bestimmter Höhe hochzuziehen. Dabei muß man darauf achten, daß die Umrißlinie mit einer etwaigen Straßenbegrenzungslinie zu verschneiden ist. Seitlich werden Baumtexturen angebracht. An der Oberseite texturiert man mit Luftbildern.

Für die Modellierung des Grazer Schloßberges wurde das Softwarepaket GIS3D der Müller Systemtechnik aus Eichenau bei München verwendet. GIS3D versteht sich als offenes System in dem Sinne, daß die Eingangsdaten grundsätzlich in beliebigen Datenformaten vorliegen können. Immer erfolgt die Datenkonvertierung in ein internes Datenformat. Besonders wichtig war für den Hersteller, Daten aus dem Siemens - System SICAD/Open - im SQD - Format - lesen zu können. Darüber hinaus können Daten in Form von Autodesk DXF gelesen werden, bzw. unformatierte ASCII-Daten. Konvertierung von ATKIS bzw. DTED Formaten ist in Planung.

3.2.1 Bedeutung eines internen Arbeitsformats

Die Methode, 2D bzw. 2.5D-Daten in dreidimensionale Geometrien umzusetzen, steht gerade an ihrem Anfang. Hinter jedem CAD-Paket steht eine – seinem Hersteller eigene – Philosophie, Daten zu halten und zu bearbeiten. Zielsetzungen und Abgrenzungen gegenüber einem Mitbewerber können so vielfältig sein, das die Software eines Herstellers für einen gewissen Anwendungszweck ideal geeignet ist, jedoch für eine etwas davon abweichende Anwendung gerade nicht. Ein internes Arbeitsformat kann so gestaltet werden, das es dem Sinn und Zweck der Software, innerhalb derer es verwendet wird, gerecht wird. Das Eingehen auf Spezialitäten verschiedener Hersteller, wie z.B. die unterschiedlichen Definitionen von Material- und Farbwert etc., kann bei der Konvertierung eingegangen werden. Ebenso können Eingangsdaten so gefiltert werden, das nur die für die 3D-Darstellung wesentlichen Daten übernommen werden.

3.2.2 Implementierung der SQD – Konvertierung

Die Objektinformation und insbesondere die Zugehörigkeit zu den verschiedenen Ebenen in SQD bleibt bei der Konvertierung erhalten. Der Benutzer hat die Wahl, ob er die in SICAD vergebenen Farbcodes beibehält oder zur 3D-Modellierung neu definiert. Es hat sich als sinnvoll erwiesen, bei der Konvertierung die Farbcodes zu ändern weil vor jeder Umsetzung in ein 3D-Modell die 2/2.5D-Daten visualisiert werden sollten. Wenn den wesentlichen Datenebenen deutlich zu unterscheidende Farben zugewiesen werden, können die Datentypen leicht unterschieden werden. Die Möglichkeit der willkürlichen Farbgebung ist also für den Benutzer ein wesentliches Hilfsmittel, die Daten aus den verschiedenen SQD - Ebenen ihrer weiteren Bestimmung zu übergeben.

3.2.3 Implementierung der Konvertierung aus anderen Formaten

Weil Daten immer in ein internes Format konvertiert werden, können Datensätze verschiedener Herkunft – miteinander vermischt bzw. korreliert werden. Der Benutzer kann Daten eines DGMs samt Bruchkanten mitverwenden und mit eigenen Farbcodes versehen; dasselbe gilt für die verschiedenen Layer aus DXF-Datensätzen. Die DXF-Datensätze können beispielsweise ein DGM beschreiben, Grundrisse von Häusern etc. definieren.

Eine Möglichkeit aus dieser Methode bietet dem Anwender, photogrammetrisch gewonnene Gebäudegrenzen mit Katasterdaten zu korrelieren [1].

4. Erstellung des 3D-Modells

Wesentliche Eigenschaft von GIS3D ist, das die Erzeugung von dreidimensionalen Geometrien automatisch abläuft, während der Benutzer jedoch bei jedem Teilschritt wichtige Eingriffs- und Gestaltungsmöglichkeiten hat.

Dächer werden in einem automatischen Verfahren als 3D-Flächen erzeugt und die Wände von Dachgauben und Schornsteinen als Senkrechte mit den Dachflächen verschnitten. Eine erste Dreiecksvermaschung zur Gewinnung eines 3D-Modells des Geländes wird durchgeführt. Die Eingangsdaten sind: DGM-Daten inklusive Bruchkanten sowie die Daten aller Objekte, welche sich auf dem Gelände befinden. Mit Vorhandensein dieses 3D-Geländemodells werden folgende Modellierungen vorgenommen:

- Erzeugen der Häuserfassaden und Verschneiden der Grundlinien mit dem Gelände
- Erzeugen von sonstigen Mauern, Zäunen, Hecken etc. und Verschneiden der Grundlinien mit dem Gelände
- Projektion von Elementen auf das Gelände, von denen nur 2D-Daten vorliegen. Solche Elemente können sein:
- Gebäudegrundrisse aus dem Kataster
- Als Splines definierte Wege und Straßen
- Umrisslinien von Wäldern

Unter Berücksichtigung dieser neu gewonnenen Linien auf dem Gelände kann nunmehr eine neue Dreiecksvermaschung durchgeführt werden. Dieses verfeinerte 3D-Geländemodell enthält sodann die Information über sämtliche Objekte unabhängig vom Datentyp. Die einzelnen Objekte des Geländes lassen sich nunmehr mit charakteristischen Texturen versehen, z.B. Asphalt, Gras, Blumenbeete, Sand.

Im Rahmen des automatischen Verfahrens werden den Häuserfassaden, Schornsteinen, Mauern etc. generische Texturen gegeben. Mit Hilfe eines geeigneten Modellers können diese generischen Texturen durch spezifische ersetzt werden, z.B. Photos wichtiger Häuserfassaden. Am Beispiel des Grazer Schloßberges wurden alle Gebäude auf dem Schlossberg mit spezifischen Photos ausgestattet, während alle umliegenden Gebäude nur generische Texturen aufweisen.

Letzter Schritt bei der Generierung des 3D-Modells ist die Plazierung von Objekten auf dem Gelände, z.B. von Bäumen. Möglicherweise müssen diese Objekte auf das Gelände projiziert werden, weil über sie nur 2D-Informationen vorliegen. Auf jeden Fall wichtig ist, daß Informationen über ihre Größen bei der Modellierung berücksichtigt werden.

5. Visualisierung und echtzeitige Begehung

Seitens herkömmlicher CAD-Systeme ist die Möglichkeit der „Animation“ wohlbekannt. Unter diesem Verfahren versteht man, daß ein Pfad für die Begehung einer 3D-Geometrie festgelegt wird, für die einzelnen Beobachtungspunkte Bilder berechnet, als Videosequenz gespeichert und im Zeitraffer betrachtet werden.

Ziel des oben geschilderten Verfahrens ist, das erzeugte 3D-Modell interaktiv – in Echtzeit – begehen zu können. Der Vorteil davon ist, das der Betrachter sich willkürlich jeden beliebigen Standpunkt für die Betrachtung aussuchen kann. Soll ein Video von einer Begehung angefertigt werden, so dient die interaktive, echtzeitige, Begehung dazu, hierfür Regie zu führen und den Pfad für die Begehung interaktiv zu wählen. Ein wichtiges Anwendungsgebiet ist die Städte- und Landschaftsplanung mit der Aufgabenstellung:

In das 3D-Modell einer vorhandenen Landschaft werden Planungsvorschläge für neue Gebäude positioniert. Die verschiedenen Planungsvorschläge können während der Begehung gegeneinander ausgetauscht werden. So können verschiedene Planungsvorschläge effizient und von beliebigen Betrachtungspositionen miteinander verglichen werden.

Eine solche echtzeitige Begehung kann bereits auf Personalcomputern erfolgen, sofern sie über einen geeigneten Graphikprozessor verfügen. Je größer das erzeugte 3D-Modell ist, um so mehr wird die Leistungsfähigkeit des Rechners gefordert. Bei großen Modellen wie z.B. beim Grazer Schloßberges erweist es sich als zweckmäßig, spezielle Grafikworkstations für die echtzeitige Begehung zu verwenden.

Die Echtzeitfähigkeit ist auch bei der Herstellung des 3D-Modells zu berücksichtigen: Objekte eines Geländes, welche vom Beobachter weit entfernt sind, brauchen am Bildschirm nicht so detailliert dargestellt werden wie nahegelegene Objekte. Dadurch läßt sich die Zahl der vom Computer darzustellenden Polygone erheblich reduzieren und eine flüssige Bewegung er-

reichen. Die Verwendung von Texturen ist ebenso ein wesentlicher Faktor, der die Echtzeitfähigkeit des 3D-Modells ausmacht.

6. Schlußbemerkungen

Mit den Anwendungsbeispiel „Grazer Schloßberg“ wurde gezeigt, daß die Umsetzung von 2D bzw. 2.5D GIS-Daten in ein photorealistisches 3D-Modell mit Hilfe einer kommerziell verfügbaren Software möglich ist. Das 3D-Modell ist geometrisch korrekt und verfügt über den Detaillierungsgrad, der durch die Eingangsdaten vorgegeben ist.

Das Vorhandensein eines 3D-Modells spielt nicht nur für die Planung eine wichtige Rolle, sondern auch bei der Erstellung von Plänen.

Darüberhinaus hat das 3D-Modell eine große Bedeutung als Visualisierungs-Instrument der GIS-Daten. Wichtige Erkenntnisse wurden gewonnen, was die GIS-Datenerfassung, die Codierung und Haltung der GIS-Daten betrifft.

Literatur

- [1] Xu, Müller: „Automatic generation of 3D city model“, Proceedings XVIII. ISPRS Congress Wien, 1996.
- [2] Xu, Lorber: „Spezifikation des Konvertierungsprogrammes GIS Daten – 3D Stadtmodell“, Magistrat Graz, Stadtvermessungsamt, 1996.

Adresse der Autoren:

Dr. Xiaoming Xu und Dipl.-Ing. Günter Lorber, Magistrat Graz, Abteilung 10/6, Stadtvermessungsamt, Kaiserfeldgasse 25, A-8010 Graz
Dipl.-Ing. Klaus R. Müller, Müller Systemtechnik Vertriebs-GmbH, Bahnhofstraße 26, D-82223 Eichenau bei München



Alpine Waldgrenzvermessung mit dem Global Positioning System

Günther Brenner, Innsbruck und Herbert Döller, Waidhofen a. d. Thaya

Kurzfassung

Die Anwendungsmöglichkeiten des GPS sind durch die Weiterentwicklung der Sensortechnik und den Vollausbau des Raumsegments auch unter schwierigen Bedingungen realisierbar geworden. Schwierige Bedingungen sind unter anderem enge Bergtäler sowie Vermessungen im Zusammenhang mit der Nutzungsart Wald. Die Agrargemeinschaft Kappl-See im Paznauntal stellt eine solche Kombination erschwerter Meßbedingungen dar.

In Rahmen eines Forschungsprojektes der Universität für Bodenkultur, Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation, und der Landesforstdirektion Tirol, Abteilung III/2/Forstbetriebseinrichtung wurden die Einsatzmöglichkeiten der modernen GPS-Technologie verifiziert. Schwerpunkt der Untersuchungen sind dabei katasterrelevante Vermessungen zur Eigentumsfestlegung der Nutzungsart Wald. Die Arbeit beschreibt Vor- und Nachteile von Code- und Trägerphasenmessungen sowie die Unterschiede von Postprocessing und Real-Time-Positionierung. Durch umfangreiche Meßserien werden die Genauigkeitsaussagen abgeleitet und mit terrestrischen Methoden überprüft. Die Erkenntnisse aus der Projektstudie sind approbiert und zwischenzeitlich mit mehreren Operaten in die tägliche Praxis übernommen.

Summary

Full commercial exploitation of real-time DGPS is a reality. Sensors and systems which provide all tasks of applications are widely available. The main step to a high user-level has been achieved with the last generation of ambiguity on-the-fly. Supporting centimeters in (almost) real-time is state of the art.

Even in very strange measurement environment GPS-positioning is thinkable. This paper shows a realization within such an area in Paznauntal (Tyrol). Within a research project of the Institute of Surveying and Remote Sensing (University of Agriculture, Forestry and Renewable Natural Resources, Vienna) and the Landesforstdirektion -Tyrol, possibilities of GPS in alpine terrain has been examined.

1. Einleitung

Seit nun schon geraumer Zeit ist dem mit Navigation und/oder Geodäsie befaßten Personen-

kreis ein revolutionäres und inzwischen auch in allen Genauigkeitsklassen schon echtzeitfähiges, weltweites räumliches Positionierungssystem zugänglich. Dank der signifikanten Verbes-