

# Nutzungsmöglichkeiten von 3D Oberflächenmodellen im Planungsprozeß

Heinz STANEK

Dr. Heinz Stanek, Vermessungsbüro Dipl.Ing. Peter Schmid, Kreilplatz 1 / 2, A-1190 Wien, stanek@geoserve.co.at

## KURZFASSUNG

Grund und Boden, speziell im Bauland, gelten als nicht vermehrbare und daher entsprechend wertvolle Ressourcen. Langfristige und gut überlegte Planung sind daher äußerst wichtig für die Nutzung dieser Ressourcen. Dabei müssen alle relevanten Gegebenheiten bestmöglich berücksichtigt werden. Dies kann nur bei Ausschöpfung aller verfügbarer Information als Grundlage für sämtliche Planungen garantiert werden.

Die dritte Dimension, die natürlichen Gegebenheiten des Geländes und die Höhe von Bauwerken spielt seit jeher in der Raumplanung eine wichtige Rolle. Der Einsatz von Laserscannern an Bord von Flugzeugen stellt die innovative Technologie zur Erfassung von weitläufigen Gebieten der Erdoberfläche dar. Das Verfahren des Laserscannings ist ein aktives, flugzeuggestütztes Messverfahren für die räumliche Erfassung der Erdoberfläche. Es ist gekennzeichnet durch einen weitgehend automatisierten Messablauf, eine vollständig digitale Datenaufzeichnung und eine computerbasierte Auswertung. Das Ergebnis ist ein hochpräzises Oberflächenmodell, aus dem mit Hilfe speziell adaptierter Filter ein Geländemodell oder ein Gebäude- bzw. Vegetationsmodell erstellt werden kann.

Die flächendeckende Verfügbarkeit der dritten Dimension eröffnet der Raumplanung neue Chancen. 3D-Modelle bieten wertvolle Unterstützung während des gesamten Planungsprozesses. Diese reicht von der räumlichen Planungstätigkeit, der Simulation von Varianten und Wechselwirkungen, bis zur Präsentation und Dokumentation des Planungsergebnisses.

## ABSTRACT

Urban areas focused on building sites are not increasable resources. For geopolitics and urban planning it is very important to make farseeing and well thought-out decisions customizing this resources. All relevant conditions and circumstances must be considered to beware lack of urban areas. This can be guaranteed only on exhaustion of all available information.

The third dimension, as to tape the natural conditions of the area surface and the information of height and geometry of buildings, is always very relevant in the planning field. The usage of airborne laser scanners opens an innovative technology for measuring of large amounts of the earth's surface. This method is characterized to combine automatic processing, digital data capturing, recording and computerized analysis. From this DSM (Digital Surface Model) a very precise DTM (Digital Terrain Model) can be derived using special filter techniques. Following this step of preprocessing, further processing can be used to create derived products like building or vegetation models.

The availability of a 3D-City model opens new chances and perspectives to urban planning. 3D-models are useful during the entire planning process. They help to define the problem, they support the planning activity, including simulation and evaluating of comparing variants and they offer many opportunities to present and argue results of planning processes. Visualization, as a main focus when presenting these results, can be done very flexible with the advantage of high geometric accuracy.

## 1 EINLEITUNG: DIE ROLLE DER DRITTEN DIMENSION IN DER RAUMPLANUNG

Das Einbringen von flächendeckender Höheninformation in den Planungsprozeß eröffnet der Raumplanung neue Chancen und Möglichkeiten. Die dritte Dimension hilft bei der Analyse des Ist-Zustandes und der Definition des Problems. Höhenmodelle können als Basis für die Planungstätigkeit selbst herangezogen werden. Wasser-, Luft- und Lärmausbreitung können im 3D-Raum simuliert werden. Die anschauliche Darstellung der Planungsideen in Form von 3D-Visualisierungen sind vor allem für den Laien besser verständlich als herkömmliche Karten und Pläne.

Der Einsatz von Laserscannern an Bord von Flugzeugen stellt die innovative Technologie zur präzisen Erfassung von weitläufigen Gebieten der Erdoberfläche dar. Die dabei erzielbare hohe Präzision (0,1m), bei gleichzeitig hoher Punktdichte (3 bis 4 Punkte je m<sup>2</sup>), eröffnet grundlegend neue Anwendungen.

Mit speziellen Filtermethoden ist es möglich, aus dem Oberflächenmodell (DSM Digital Surface Model) sowohl ein Bodenmodell (DTM Digital Terrain Model) als auch ein Gebäudemodell zu erstellen. Im Rahmen des Kplus Kompetenzzentrums ACV- Advanced Computer Vision beschäftigen sich einige Institute der TU Wien und private Firmen unter anderem mit Techniken der Oberflächenmodellierung und Rekonstruktion von Gebäuden aus 3D-Punktwolken.

Als Ergebnis dieser raschen, weiträumig flächendeckenden und berührungslosen Technologie steht somit ein Bodenmodell in Rasterform (1 Punkt je m<sup>2</sup>) zur Verfügung. Dieses kann einerseits für allgemein verständliche Visualisierungen verwendet werden und andererseits, auf Grund der hohen Genauigkeit, auch vollwertig in den Planungsprozess integriert werden.

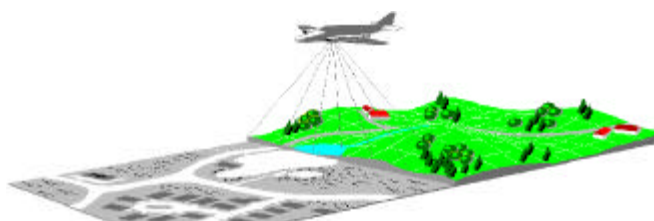
## 2 DATENERFASSUNG MIT LASERSCANNERN

### 2.1 Prinzip der Laser-Scan-Technologie

Das Laserscanning ist ein aktives, flugzeuggestütztes Messverfahren für die räumliche Erfassung der Erdoberfläche. Die Laserscannermessung ist gekennzeichnet durch einen weitgehend automatisierten Messablauf, einer vollständig digitalen Datenaufzeichnung und einer computerbasierten Auswertung. Sie basiert auf einem Multisensorsystem mit den Hauptkomponenten: Laserscanner, GPS-Empfänger und Inertiales Navigationssystem

Abb.1: Meßprinzip Laserscanner (TopoSys)

- ?? Punktdichte 0,1 bis 8 Punkte je m<sup>2</sup>
- ?? Flughöhe ca. 850 m
- ?? Meßrate 83 kHz
- ?? Lage: ± 0,50 m
- ?? Höhe: ± 0,1 m
- ?? Integration von Komponenten



Bei der Laserscannermessung tastet ein Laserstrahl in einer Pendelbewegung quer zur Flugrichtung das Gelände in Streifen entlang des Flugwegs ab. Der Laserstrahl wird von der Erdoberfläche, von Gebäuden, Vegetation, Fahrzeugen etc. reflektiert. Aus Laufzeitmessungen wird die Distanz zum Bodenpunkt ermittelt.

Die Position und die Lage des Sensors im Raum werden mit Hilfe von GPS (Global Positioning System) in Kombination mit einem Laser-Kreiselsystem LINS (Laser Inertial System) präzise vermessen. Zusammen mit der Scan-Winkelmessung läßt sich somit für jeden Reflexionspunkt des Laserstrahls auf der Erdoberfläche die Position, d. h. Rechtswert, Hochwert bzw. Y und X im Koordinatensystem und Höhe bestimmen.

Mit Hilfe von koordinativ bekannten bzw. speziell eingemessenen Paßpunkten werden die Daten der einzelnen Flugstreifen zueinander und bezüglich des Landeskoordinatensystems referenziert. Das Ergebnis sind Höhen-Punkte in einem regelmäßigen Raster mit einer Maschenweite von 1 Meter.

## 2.2 Auswertung der Laser-Scanner-Daten

Für die Überprüfung der Einpassung der Laserdaten und der Genauigkeit des Oberflächenmodells werden tachymetrisch aufgenommene Referenzpunkte und Pläne von großen Bauwerken und anderen Projekten verwendet. Die Referenzhöhen werden mit den Höhen in den Originaldaten verglichen. Um homogene Datengenauigkeit garantieren zu können, werden Referenzpunkte und Kontrollpunkte verwendet, die über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt sind.

Primäres Ziel der Auswertung ist es, aus den ungefilterten Laser-Scanner-Daten, dem digitalen Geländemodell, durch spezielle Interpolationsmethoden Punkte auf Gebäuden und Vegetationspunkte zu eliminieren, und aus den verbliebenen Laserpunkten ein Bodenmodell (DTM Digital Terrain Model) zu erhalten.

Um aus den Laser-Scanner-Daten ein reines Bodenmodell zu erhalten, werden in mehreren Schritten Filterungen durchgeführt. Die wesentlichen sind eine automatische Elimination der Vegetationspunkte durch lineare Prädiktion mit robuster Schätzung und visuelle Kontrolle anhand von rastergraphischen Schummerungen sowohl der Original-Daten als auch des Ergebnisses. Sind sehr große Gebäude im Bearbeitungsgebiet enthalten, werden diese manuell nachbearbeitet.

Wie in Abb.2 ersichtlich, ist es vor allem in bewaldetem Gelände von Vorteil, die Befliegungen in der vegetationsarmen Jahreszeit durchzuführen, da in dieser Zeit die Durchdringungsrate der Laserstrahlen deutlich höher ist und so die Erdoberfläche wesentlich präziser erfaßt werden kann und weniger Filteraufwand notwendig ist.

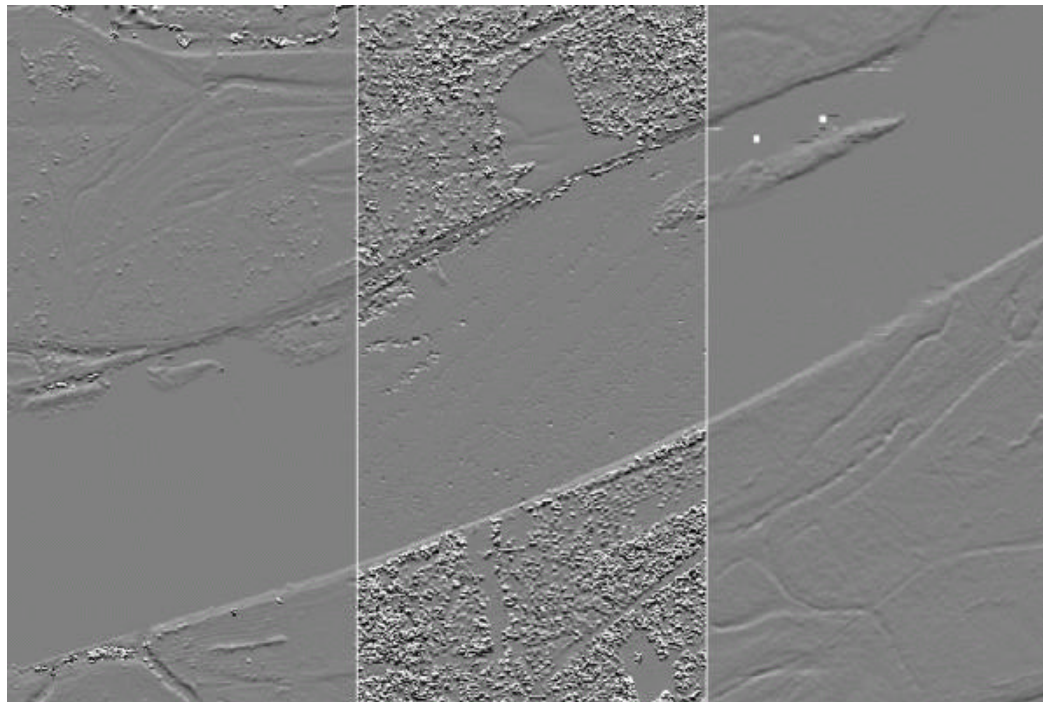


Abb.2: Schummerungen: orig.Daten, März 1999 (Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien, 2000) orig. Daten, April 1999 gefilterte Daten, April 1999

## 2.3 Genauigkeit des Höhenmodells

Die Genauigkeit der Laserscanner-Daten setzt sich aus der Präzision der Laser-Entfernungsmessung, der mit GPS und LINS (Laser Inertial System) erreichten Positions- und Orientierungsgenauigkeit und der Präzision der Referenzierung der einzelnen Streifen-Daten zusammen. Die Genauigkeit des Höhenmodells leitet sich aus der Genauigkeit der gegebenen Laser-Scanner-Daten ab. Da die Daten sehr dicht sind (3 bis 4 Punkte je m<sup>2</sup>), hat die Interpolation keinen wesentlichen Einfluß auf die Genauigkeit.

Bevor die Daten ausgewertet werden, wird die Einpassung (Lage und Höhe) kontrolliert. Dies erfolgt durch den Vergleich der gelieferten Laser-Scanner-Daten mit tachymetrischen Messungen.

Die Lagegenauigkeit liegt bei ca. 75cm, die der Höhe bei 7cm. In dicht bewaldeten und in Wiesen-Gebieten kann nicht von dieser hohen Genauigkeit ausgegangen werden.

### 3 BEISPIEL: HÖHENMODELL AUS LASERSCANNER-DATEN FÜR KLOSTERNEUBURG

Als Beispiel für den Einsatz von Laserscannern von Flugzeugen aus darf hier die Generierung eines Geländemodells von Klosterneuburg angeführt werden. Im Computeratlas Klosterneuburg werden Zählungsdaten, Kartierungen, Katasterinformationen, ein digitales Geländemodell, Luft- und Satellitenbilder in einem Geographischen Informationssystem (GIS) kombiniert (Beissam, Wonka, 1999). Die Erfassung der Geländeoberfläche mit Laserscannern stellt eine günstige Möglichkeit dar, um das geforderte Geländemodell rasch, flächendeckend, homogen und mit hoher Genauigkeit zu realisieren.

Das Projektgebiet mit einer Fläche von über 7600 ha wurde im März/April 2000 (vegetationsarme Jahreszeit) in 200m breiten Streifen mit einer Flughöhe von ca. 850m über Grund mit einem Laserscanner abgetastet. Die Positionierung des Systems erfolgt über zwei Referenzstationen durch GPS.

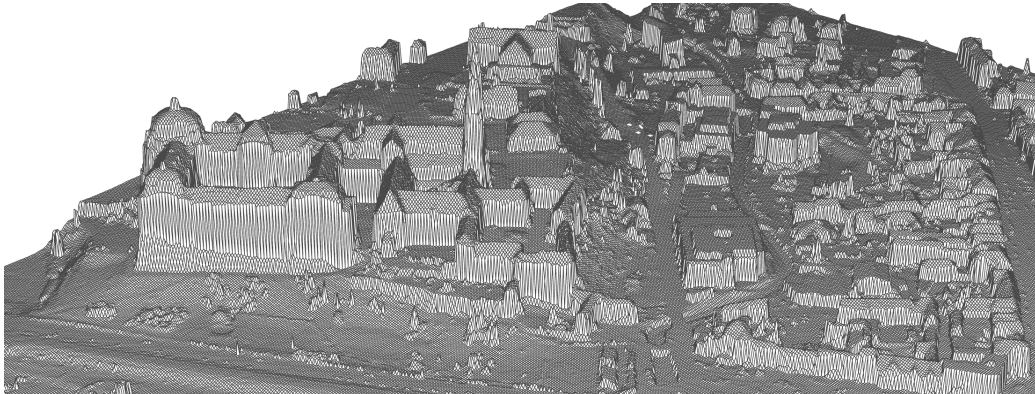


Abb.3: Perspektive Originaldaten-Ausschnitt (Ansicht Stift Klosterneuburg von NO)

Das erste Ergebnis ist ein Oberflächenmodell (DSM Digital Surface Model) mit einer Rasterweite von 1m.

Das daraus abgeleitete Gebäudemodell soll zur anschaulichen Darstellung des Stadtgebietes und als Basis für Überlegungen im Bereich der Städte- und Raumplanung in Klosterneuburg eingesetzt werden.

Als weitere Anwendung der Laserscanner-Daten im Anschlußbereich wird das Geländemodell (DTM Digital Terrain Model) die Basis für Simulationen von Überschwemmungen im Bereich der Donauauen nordwestlich von Wien bilden.

### 4 ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN VON 3D-MODELLEN AUS LASERSCAN-DATEN IM BEREICH DER RAUMPLANUNG

Die Verfügbarkeit von flächendeckenden präzisen dreidimensionalen Daten eröffnet der Raumplanung mannigfaltige Möglichkeiten des Einsatzes.

Die vom Laserscanner erfaßten Daten lassen sich in verschiedene Informationsanteile trennen.

Bodenmodell (DTM Digital Terrain Model) und Gebäudemodell wurden schon erwähnt. Mit Hilfe der Registrierung von First- und Last-Pulse-Signalen können vom Laserstrahl durchdringbare Objekte wie zum Beispiel Bäume und Gewässeroberflächen differenzierter erfaßt und ausgewertet werden. Information über die Intensität des reflektierten Laser-Signals läßt auf die Oberflächenstruktur schließen und hilft, Flächen gleicher Beschaffenheit zu differenzieren.

Die Laserscanner-Daten können auch mit anderen Informationen, wie zum Beispiel mit Orthophotos, Satellitenbildern, diversen Umweltdaten oder auch statistischen Daten kombiniert werden. Zukünftig werden beim Laserscanner-Flug auch die Farbinformation erfaßt werden und als separierte RGB bzw. IR Kanäle verfügbar sein.

#### 4.1 Geländemodell:

Für viele Anwendungen ist ein Geländemodell, das keine Gebäude, Vegetation, Fahrzeuge etc. enthält, von primärem Interesse. Durch Einsatz spezieller Filtermethoden werden Punkte auf Gebäuden und Vegetation eliminiert bzw. deren Höhen korrigiert. Das daraus abgeleitete DTM gibt den Verlauf der natürlichen Erdoberfläche wieder. Hier sollen nur einige mögliche Anwendungen als Beispiele aufgelistet werden.

- ?? großräumliche Simulation von Standorten (etwa Antennenstandorte)
- ?? Sichtbarkeitsstudien
- ?? Simulation von Lärmausbreitung, Luftströmungen, sonst. Klimaaspekte
- ?? Standortanalysen bei der Planung von Windkraftanlagen
- ?? Simulation von Erosion infolge Hangneigung und Sonneneinstrahlrichtung
- ?? 3D-Modelle zur Prognose von Überschwemmungen, Lawinen, Muren; Planung von baulichen Maßnahmen
- ?? Projektierung, Evaluierung von Großbauwerken wie Brücken, Taleinschnitten, Trassen von Straßen, Eisenbahn u. Hochspannungsleitungen
- ?? Verkehrsplanung,-analyse unter Berücksichtigung von Steigung, Gefälle, etc.
- ?? Einfluß der Geländeverhältnisse auf die Unfallstatistik
- ?? Wasserbauliche Planungen, Management von Trinkwasserressourcen, Prognose der Wassermenge aus Erfassung des Schneevolumens
- ?? als Basis für Umweltverträglichkeitsprüfungen

- ?? Kombination 3D-Geländemodell/Orthophoto bzw. Satellitenbild für Ausbildung, Schulung von Piloten und Einsatzkräften (v.a. Hubschrauber, Kleinflugzeuge)
- ?? Volumsbestimmung, Entwicklungsbeobachtung von Abbaubereichen (z.B. Sand-, Kiesgruben), Deponien etc.

## 4.2 Gebäude-/Vegetationsmodell

Andererseits gibt die Differenz zwischen Gelände- und Oberflächenmodell die Gebäude und die Vegetation analytisch wieder.

Die Einbindung der First/Last-Pulse Information bzw. Kombination von Laser-Scanner-Daten mit digitalen Orthophotos ermöglicht bzw. verbessert die Differenzierbarkeit von Gebäuden und Vegetation. Auf diesem Wege können 3D Gebäude- bzw. Stadtmodelle hoher Qualität (teil-)automatisch generiert werden. Der dabei erzielbare hohe Qualitätsstandard hinsichtlich Geometrie und Vollständigkeit ist einerseits durch die eingesetzten Sensoren und andererseits durch spezielle Nachbearbeitung gewährleistet.

Wie bereits erwähnt, wird derzeit im Rahmen eines Projektes des Kplus Kompetenzzentrums ACV- Advanced Computer Vision an der Weiterentwicklung von geeigneten Filterungstechniken gearbeitet. In diesem Projekt werden darüber hinaus Methoden zur automatisierten Rekonstruktion von Gebäuden aus 3D-Punktwolken entwickelt..

3D-Gebäudemodelle bilden die Basis für vielfältigste Anwendungen für die Aufgaben der Planung und Verwaltung. Auch die vorab separierten 3D-Vegetationsmodelle können umfassend modelliert und in Analysen, Planungen und Visualisierungen eingebunden werden.

- ?? 3D-Darstellung, Visualisierung des Ist-Zustandes (Gelände/Gebäudemodell) als Basis für Planer und Architekten: Planung, Einarbeitung, Visualisierung, Simulation des geplanten Zustandes
- ?? 3D-Visualisierung von geplanten Objekten in der realen Landschaft
- ?? 3D-Dokumentation von städtebaulichen Entwicklungen durch multitemporale Erfassung
- ?? Bauklassen-Kontrolle: Vergleich des Gebäudemodells mit dem Bebauungsplan
- ?? kleinräumliche Simulation von Luftströmungen, Lärmausbreitung
- ?? Bestandesdarstellung, Entwicklung von Forstbeständen durch Erfassung des Bodens bzw. der Vegetation durch First- bzw. Last-Pulse-Verfahren unter Berücksichtigung der Jahreszeiten (Bäume mit bzw. ohne Laub)

Mit Hilfe von Orthophotos hoher Auflösung wird die Erstellung anschaulicher und lagemäßig korrekter Visualisierungen mit hoher geometrischer Genauigkeit möglich. So können etwa Seitenabstände oder Dachhöhen direkt aus diesen 3D Modellen abgegriffen werden.

Die zusätzliche Höhen- und Bildinformation im 3D-Stadtmodell macht es in Kombination mit dem Flächenwidmungs- und Bebauungsplan oder anderen Planungsgrundlagen zum wertvollen Planungswerkzeug für Raumplaner, Architekten und politisch Verantwortliche.

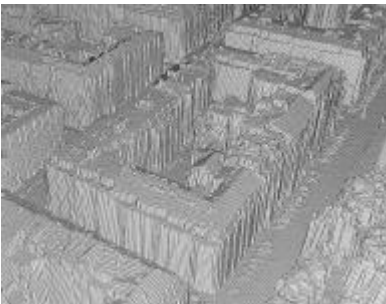


Abb.4: Gebäudemodell  
Briese, 2000b)

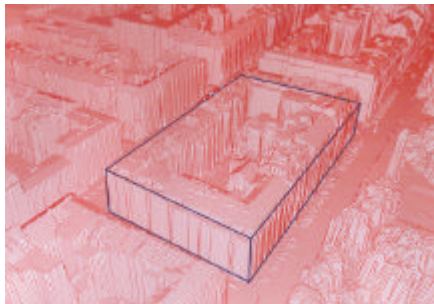


Abb.5: Gebäudemodell mit Gebäude-  
höhe gemäß Bebauungsplan

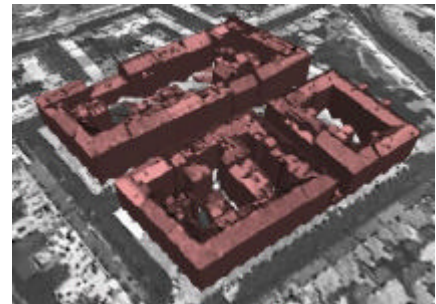


Abb.6: Gebäudemodell mit über-  
lagertem Orthophoto (Briese, 2000a)

Damit können geplante Projekte in das 3D-Stadtmodell integriert und den Gemeindebürgern visuell und damit allgemein verständlich und gleichzeitig in korrekter Dimension und Position präsentiert werden.

Anhand von bearbeiteten Projekten (Klosterneuburg und Zürich See) sollen die Möglichkeiten der Verwendung dieser mittels Laserscanner bestimmten Höhenmodelle exemplarisch vorgestellt werden.

## 5 PLANUNGSPROZESS

In der Raumplanung spielt Information im Rahmen des Planungsprozesses eine zentrale Rolle. Da Grund und Boden, im weiteren Sinne also auch Bauland, zu den nicht vermehrbaren Ressourcen zählen, ist langfristige und gut überlegte Planung äußerst wichtig. Je umfassender und qualitativ hochwertiger und aussagekräftiger die für das Projekt relevanten Daten sind, umso besser wird das Endergebnis dem Planungsziel entsprechen.

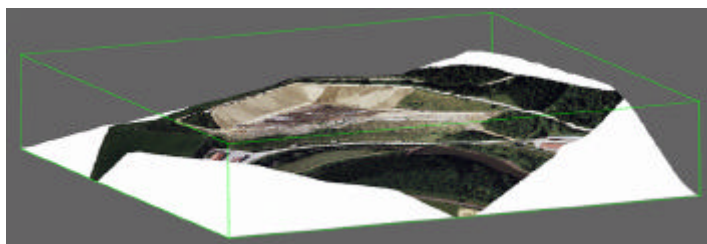


Abb.7: Mülldeponie: Geländemodell mit überlagertem Orthophoto

In vielen Fällen kann bei kooperativen iterativen Planungsprozessen das Einbringen der dritten Dimension als Zusatzinformation einerseits und als Basis für Simulationen bzw. zur visuellen Darstellung andererseits einen hilfreichen Beitrag zur Kommunikation und Kooperation zwischen den Akteuren darstellen (Kuhlmann, 2000). Je präziser die Problemstellung, je vollständiger die Datengrundlagen und je anschaulicher die Realisierungsideen, umso weniger Iterationsschritte sind erforderlich, um eine Übereinstimmung aller Beteiligten zu erreichen. Auch das Zusammenwirken mehrerer Planer aus verschiedenen Schwerpunktdisziplinen wird dabei bedeutend vereinfacht. Dieser aus der Sicht der Planung als innere Kommunikation zu bezeichnende Aspekt wirkt auf die Qualität der Planung selbst zurück.

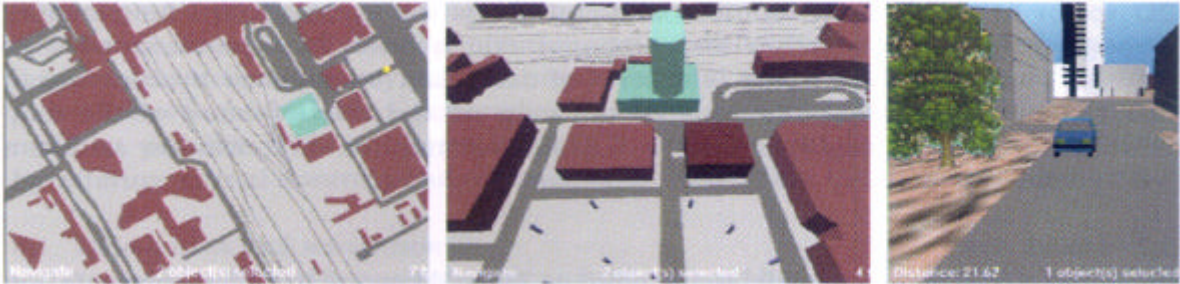


Abb.8: Darstellung von Ideen im Planungsprozeß: Plan, 3D, Photorealistische Visualisierung (Verbree et al., 1999)

Die Möglichkeit der computergestützten dreidimensionalen Visualisierung von Landschaftsausschnitten spielt eine zunehmend bedeutsamere Rolle bei der Darstellung der Planungsideen. Der Planer selbst kann dadurch sein Entwürfe leichter optimieren, der Planungslaike ist besser in der Lage, die Projekte zu beurteilen. Der Entwurf kann im dreidimensionalen Raum in der realen Landschaft dargestellt und aus beliebiger Richtung, auch aus der Vogelperspektive betrachtet werden (Dorau, 1998). Dabei werden alle Visualisierungen aus den im Planungsprozess verwendeten Informationsanteilen direkt abgeleitet. Varianten bzw. Auswirkungen von Planungen werden daher stets mit gleicher Genauigkeit nachvollziehbar erstellt.



Abb.9: 3D-Visualisierung von Gebäuden mit Bäumen (Brenner, Haala, 1999)

Mit der entsprechenden Software ist es auch möglich, den Standpunkt des Beobachters online zu ändern, also über oder durch die 3D-Objekte zu "fliegen", um einen noch besseren räumlichen Eindruck zu erhalten.

## 6 AUSBLICK

Durch die Erfassung von 3D- Naturbestandsdaten mit Laserscannern, die Kombinationsmöglichkeit mit Orthophotos und GIS-Daten verschiedenster Datenquellen und verbesserter Hard- und Software werden zukünftig in der Raumplanung noch effizientere Methoden der Problemdefinition, der Planung, der Beurteilung von Planungsideen anhand von 3D-Visualisierung und der Präsentation für die Beteiligten als bisher zum Einsatz kommen.

Zukünftig könnten auch im Baubewilligungsverfahren die Informationen und die Technik der 3D-Modelle (Gelände und Gebäude) genutzt werden. Im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungsverfahren werden derzeit meist schon GIS (Geographisches Informations-System) zur Datenverwaltung und -analyse eingesetzt. 3D-Laserscanner-Daten stellen eine zusätzliche Datenebene dar, die die Berücksichtigung der räumlichen Gegebenheiten erheblich erleichtert.

Mit Hilfe der Einbeziehung von flächendeckenden 3D-Oberflächenmodellen wird in Zukunft die dritte Dimension leichter in den Planungsprozeß integriert werden. Im Hinblick auf die Transparenz und die allgemeine Verständlichkeit von immer komplexeren Planungsmaßnahmen ist in Zukunft mehr Akzeptanz der Beteiligten zu erwarten.

## 7 LITERATURHINWEISE

- Beissmann H., Wonka E.: ComputergestützteRaumplanung am Beispiel des Computeratlas Klosterneuburg, Österr. Akademie d. Wissenschaften, ÖSTAT; CORP 99, S.77), 1999
- Brenner C., Haala N.: Rapid Production of Virtual Reality City Models. GIS 2/99, S.22 ff., 1999.
- Briese Ch., Kraus K., Mandlbürger G., Pfeifer N.: Einsatzmöglichkeiten der flugzeuggetragenen Laser-Scanner, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien, 2000a.
- Briese, Ch.: Digitale Modelle aus Laser-Scanner-Daten in städtischen Gebieten. Diplomarbeit am I.P.F., 2000b.
- Dorau U.: Computergestützte 3D-Visualisierung in der Landschaftsplanung- Ein Vergleich der Anwendbarkeit unterschiedlicher Visualisierungssoftware im mittleren Planungsbereich.CORP 98, S.81 ff
- Pfeifer N., Köstli A., Kraus K.: Interpolation of Laser Scanner Data – Implementation and first results. International Achieves of Photogrammetry and Remote Sensing, Commission III, Working Group 2, 1998
- Pfeifer N., Reiter T., Briese C., Rieger W.: Interpolation of high quality ground models from laser scanner data in forested areas. International Achieves of Photogrammetry and Remote Sensing, Commission III, Working Group 2 and 5, 1999
- Kuhlmann Ch.: Computergestützte Planung im Planungsprozeß; Stadtplanung Biberbach, CORP 99, S.155, 1999.
- Verbree E. et al.: Interaction in virtual world views – linking 3D GIS with VR. International Journal of Geographical Information Science, 4/1999, S. 385 ff., 1999.