

# 3D-Stadtmodelle — Techniken, Trends, Visionen

Von Lothar Koppers, Dessau



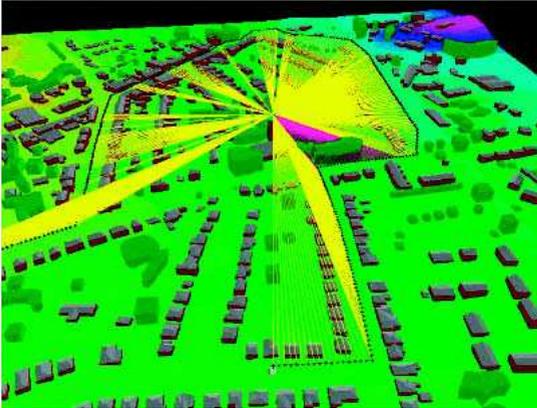
## 1 Einleitung

Den Begriff 3D umflutet eine fast schon magische Aura. Nennt man ihn, beginnen die Augen der Zuhörer zu leuchten, man ist sich der Aufmerksamkeit gewiss. Produkte mit dem Zusatz »3D« lassen sich besonders gut vermarkten. Von Grafik- oder Soundkarten, Displays über 3D-Wochen in Fernsehkanälen bis hin zu Autolacken oder Haarfärbemitteln — vieles, auch wenn es buchstäblich an den Haaren herbeigezogen scheint, wird mit dem Attribut 3D versehen.

3D-Modelle der Erdoberfläche können eindeutig zugeordnet werden. Sie teilen sich in die Familien der 3D-Landschaftmodelle und 3D-Stadtmodelle. Unter 3D-Stadtmodellen werden EDV-technisch gespeicherte Modelle mit dem Ziel der räumlichen Rekonstruktion verstanden [Lorber 96], die vorzugsweise urban geprägte Situationen beinhalten. Die Übergänge zwischen beiden Familien sind fließend. 3D-Landschaftsmodelle sind eher großflächige Modelle natürlicher Objektarten.

## 2 Anwendungsgebiete

Die Realisierung von 3D-Stadtmodellen verursacht Kosten. Diese lassen sich nur abbilden, wenn der Anwendung der entsprechende Nutzen gegenübersteht. Wegbereitend sind die Anwendungen der Telekommunikation. Unter Verwendung von Ausbreitungsmodellen (Bild 1), wie dem Ray-Tracing [Ray], werden Reichweiten von Sendeanlagen abgeschätzt und Funknetze geplant.



*Bild 1:*  
Ray-Tracing in einem  
3D-Stadtmodell,

Quelle:  
<http://www.rcru.rl.ac.uk>

Erhebliche Bedeutung entwickeln 3D-Stadtmodelle bei Planungs- und Entscheidungsprozessen. Hier werden traditionell reale Miniaturmodelle verwendet, die i. d. R. aufwändig aus Gips, Holz, Karton, Kunststoffen gefertigt werden. Bei diesen Modellen wird stark abstrahiert sowie auf Farbgebung und Textur verzichtet. Die Miniaturmodelle haben allerdings den Nachteil, dass sie relativ teuer in der Herstellung, dabei aber recht unflexibel zur Darstellung von Planungsvarianten sind. Hier haben 3D-Stadtmodelle sicherlich einen erheblichen Nutzerkreis, dessen spezielle Bedürfnisse [Koppers 02] berücksichtigt werden müssen.

In die umgekehrte Richtung zielt die Rekonstruktion nicht mehr existenter Situationen bis hin zur Darstellung historischer Ensembles unterschiedlicher Epochen. Exemplarisch sei die Visualisierung der Colonia Ulpia Trajana [CUT] — des Archäologischen Parks Xanten genannt, in der die Entwicklungsgeschichte der römischen Stadtentwicklung mit Einzelgebäudegenauigkeit über mehrere Jahrhunderte verfolgt werden kann.

Eine weitere Anwendung von 3D-Stadtmodellen ist die Verwendung als Datenbasis von Spielen. Spiele finden häufig in realitätsnahen virtuellen Welten statt, die für diese Anwendung optimiert werden. Die Nutzer legen hohen Wert auf einen realistischen Eindruck der Szenen. Gesteigert wird dieser Eindruck durch Verwendung nicht nur realistisch wirkender, sondern wirklicher Umgebungen mit wieder erkennbaren Objekten.

Beispiel dafür sind Flugsimulatoren, wie in Bild 2 ein Ausschnitt des Flugsimulator II von Microsoft verdeutlicht. In Flugsimulatoren werden bei weitem nicht alle Gebäude, sondern eher die Landschaftserkennungsobjekte (Landmarks) abgebildet sowie bei der Modellierung auf die fast ausschließliche Sicht von oben geachtet. Feiner modelliert werden Ansichten, die aus der Nähe und vom Erdboden aus betrachtet werden, insbesondere die Flughäfen. Es ist deutlich zu erkennen, dass alle Gebäude mit Flachdächern dargestellt sind, differenzierte Dachformen haben hier geringere Bedeutung.

*Bild 2:*  
Screenshot: Microsoft  
Flugsimulator II

Quelle: Microsoft



Weitere Anwendungsbereiche der 3D-Stadtmodelle sind Umwelt- und Simulationsszenarien [[Boytscheff](#)], Stützung von Ortungsaufgaben [[Geist](#)] und Reiseführer [[JTM](#)], um nur einige Beispiele zu nennen.

Neben unterschiedlichen inhaltlichen Ausprägungen gibt es in der Modellierung die Berücksichtigung der späteren Verwendung. Es wird zwischen präprozessierten und Real-Time-Anwendungen von Abbildungen der 3D-Information auf ein zweidimensionales Medium, z. B. einem Bildschirm unterschieden. In präprozessierten Anwendungen wird ein festgelegter Weg mit einer virtuellen Kamera abgefahren. Im Laufe der Kamerafahrt werden in regelmäßigen Abständen Einzelbilder errechnet, die anschließend zu einer Filmsequenz zusammengefügt werden. Für die Berechnung der Einzelbilder, dem Rendering, sind je nach Detaillierung des Modells, Auflösung des entstehenden Bildes und verfügbarer Rechnerleistung mitunter mehrere Minuten bis zu Stunden notwendig. Das Ergebnis ist eine realistische Animation, die Kinoqualität erreichen kann [[Schwarz](#)].

In Real-Time-Anwendungen ist der Weg der virtuellen Kamera hingegen nicht vorgegeben. Der Nutzer kann jederzeit Position und Blickrichtung variieren. Daher können Einzelbilder nicht vorgerechnet werden. Sie werden für

jeden Zeitpunkt mit aktuellen Eingabeparametern neu prozessiert. Ziel ist auch unter diesen Rahmenbedingungen ein flüssiges ablaufendes Bild. Für die Berechnung und Anzeige eines Einzelbildes steht daher ein Zeitschlitz von 1/27 Sekunde zur Verfügung. Unter dem Einfluss der geringen zur Verfügung stehenden Zeit leidet naturgemäß die Qualität der Darstellung. Der Nutzer kann während der Visualisierung ständig seine Position und Blickrichtung aktuellen Bedürfnissen anpassen. Wachsende Rechnerleistungen und die Entwicklungen im Bereich der Graphikkarten führen zu ständig verbesserten Darstellungsqualitäten — und steigenden Detaillierungsbedürfnissen.

### 3 Verfahren zur Gebäuderekonstruktion

In 3D-Stadtmodellen werden zurzeit vorwiegend Gebäude, gelegentlich auch Vegetationsobjekte abgebildet. In einigen Modellen ist die Integration digitaler Geländemodelle vorgesehen.

Neben klassischen photogrammetrischen Ansätzen wurden in den Jahren seit 1995 verschiedene Verfahren mit unterschiedlichen Ansätzen zur geometrischen Rekonstruktion und zur Texturierung von Gebäudeobjekten entwickelt. Im Folgenden wird eine Auswahl (Bild 3) dieser Verfahren kurz skizziert. Die Bezeichnung der Verfahren erfolgt nach Autoren und dem Veröffentlichungsjahr.

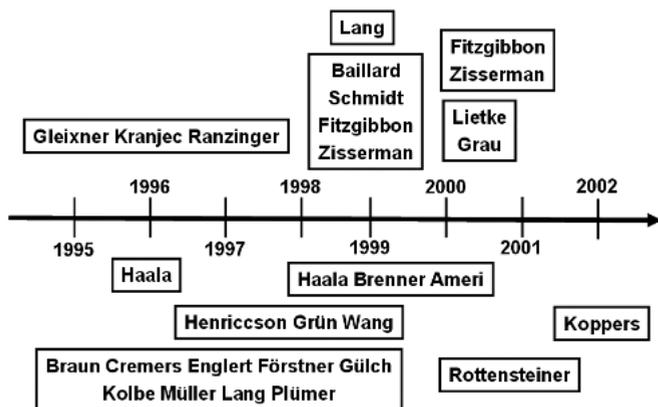


Bild 3: Übersicht ausgewählter Verfahren mit dem Schwerpunkt Gebäuderekonstruktion

### *Haala 1996*

Das Verfahren nach [Haala 96] ist durch Filteransätze geprägt. Zunächst entsteht aus einem Stereomodell ein Digitales Oberflächenmodell (DOM), aus dem einzelne Strukturen als mögliche Elemente von Geländeobjekten extrahiert werden. Aus dem DOM wird eine Tiefenkarte zwischen den Bildern des Stereobildpaares gerechnet. Mit einem Filter erfolgt eine Gruppierung von 2D-Liniensegmenten zu 3D-Segmenten. Anschließend werden die dreidimensionalen Segmente zu parallelen oder rechteckigen Primitiven gruppiert. Die Analyse von Lage und Form der Rechtecke lässt Rückschlüsse auf die Dachform zu. Dabei werden Rechtwinkleigenschaften, Größen und Neigungswinkel über Kenngrößen eingebracht. Der Ansatz erfordert ein DOM guter Qualität. Er greift in dünn besiedelten Gebieten (Segmentierung). Seine einzige mögliche Dachform ist das Satteldach.

### *Haala und Brenner 1999*

Der Ansatz von [Haala et al 99, Brenner 00] beginnt ebenfalls mit der Zerlegung in »Region of Interest« (ROI) mittels eines DOM, allerdings wird dieses aus Laserscannerdaten gewonnen. Ebenfalls aus den Laserscannerdaten (Standardabweichung < 1 m) erhält man grobe Gebäudemodelle. Diese werden gemeinsam mit den Grundrissdaten analysiert, um einfache 3D Grundelemente zu erkennen und festzulegen, aus denen im nächsten Schritt die Gebäude zusammengesetzt werden. Mögliche Dachformen sind Flach-, Sattel- und Walmdach. Die Texturierung der Gebäude erfolgt mit terrestrisch gewonnenen Bildern, indem im Bild die Texturreckpunkte manuell bestimmt, der Bildausschnitt perspektivisch entzerrt und die Textur mit dem korrespondierenden Polygon verknüpft wird. Die Ansicht verdeckender Objekte sind bei der Texturgewinnung hinderlich, da sie mit auf die Objektfläche aufgetragen werden und damit Objektbestandteil werden.

### *Ameri 2000*

Ein Verfahren zur automatischen Erfassung von Gebäudedächern beschreibt [Ameri 00]: Zunächst wird eine Segmentierung in ROI nach [Brenner 00] vorgenommen, um Bereiche mit einzelnen Gebäuden zu erhalten. Ebene Bereiche und Dachflächen erkennt die Software durch kleinste Quadratschätzung. Die Dachflächen werden durch Parameterschätzung in den dreidimensionalen Raum übertragen. Es entstehen dreidimensionale Dachpolygone. Anschließend werden die topologischen Beziehungen bestimmt. Über

Voronoi-Diagramme entstehen Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den Dachelementen. Die fertigen Dächer dienen als Grundlage für ein grobes Gebäudemodell. Eine Texturierung der Gebäude ist nicht vorgesehen.

*Baillard, Schmidt, Fitzgibbon und Zisserman 1999*

Bei dem in [Baillard et al 99] vorgestellten Ansatz »Automatische 3D Gebäuderekonstruktion aus Mehrbildansichten«, der im Rahmen des IMPACT-Projektes entwickelt wurde, sind mindestens 4, besser jedoch 6 Bilder mit starker Überdeckung als Datengrundlage notwendig. Aus den einzelnen Bildern werden mittels Canny-Operator und Linienschätzung Linienstücke extrahiert. Diese werden dann mit Merging- und Growing-Algorithmen verbessert. Es folgt die Bestimmung von Halbebenen links und rechts der Linien.

Die Gruppierung und Vervollständigung der 3D Linien wird über Verschmelzung kollinear Halbebenen und Gruppierung koplanarer Linien und Halbebenen erreicht. Durch Ebenenschnitte entstehen Linien, die mittels Kantendetektion zuvor nicht erkannt wurden. Die Grenzen der Ebenen werden ermittelt, die Ebenen verbunden und überstehende Linienstücke abgeschnitten.

In einer Überprüfung der Daten werden Ebenen mit nur einer Grenzlinie verworfen, eine radiometrische Ähnlichkeitsprüfung über alle betroffenen Bilder durchgeführt und widersprüchliche Ebenen unterdrückt. Mit diesem Verfahren werden Dachflächen mit einer Standardabweichung von  $2^{\circ}$ – $5^{\circ}$  erkannt. Es werden nur Bilder als Ausgangsdaten benötigt. Das Verfahren arbeitet unabhängig von vorgegebenen Dachformen.

*Fitzgibbon und Zisserman 2000*

In einer Weiterentwicklung des Verfahrens von [Baillard et al 99] entstand das VHS2VRML Verfahren [Fitzgibbon et al 00]. Als Eingangsdaten werden nun die Aufnahmen einer Videokamera als Bildsequenz von 25-30 Bildern verwendet. Zusätzlich zu Linien werden Ecken detektiert. Die vorher betrachteten Bildtriplets werden als multiple Triplets betrachtet.

Das Ergebnis ist ein texturiertes (VRML-) Modell. Die Texturen entstehen als Bildextrakt mit anschließender Affintransformation. Die Wahl der Textur geschieht durch Auswahl aus allen Bildern, in denen die jeweilige Ebene

vollständig zu sehen ist. Als Texturquelle wird dann das Bild gewählt, welches die größte Frontfläche zur Kameraposition bietet.

*Henricsson, Grün, Wang 1996-2000*

Der CyberCity Modeller ist ein aus einer langjährigen Folge unterschiedlichen Arbeiten an der ETH Zürich entstandenes Produkt. Die Entwicklung begann mit dem TOBAGO — (Topology Builder for the Automated Generation of Objects from Pointclouds) [Henricsson et al 96] und dem ARUBA (Automatic Reconstruction of Sub-Urban Buildings from Aerial Images) — Verfahren [Henricsson et al 96] als topologisch orientiertes Verfahren. Auf diesem basierend wurde das Programmpaket CyberCityModeller entwickelt [Grün et al 98, 99].

Der Operateur misst an einem Stereoauswertegerät (Analytischer Plotter oder Digitale Auswertestation) Hausdächer in Form einer 3D-Punktwolke. Die Reihenfolge dieser Punkte ist beliebig. Dacheinheiten sind ein als abgeschlossene Punktwolke gemessenes volles Dach oder der Teil einer komplexeren Dachkonstruktion, welches als Modell im Objektartenkatalog existiert. Strukturell komplexe Dächer müssen vom Operateur in Untereinheiten aufgebrochen werden.

Die automatische Strukturierung läuft in zwei Stufen ab. Zunächst wird ein Klassifizierungsalgorithmus initialisiert, der die Anzahl der Firstpunkte eines Daches erkennt. Der Classifier, der auf einer Histogrammanalyse der Höhenwerte der Dachpunkte beruht, gibt seine Ergebnisse an den K-Parser, der wiederum die Topologie der Firstpunkte bestimmt und analysiert, ob ein gegebener Datensatz strukturierbar ist.

Verworfenen Punktwolken werden dem Operateur visualisiert. Der kann in der Folge Korrekturmaßnahmen einleiten. Das erfolgreich analysierte Dach wird einer Klasse von Modellen zugeordnet. Innerhalb der Klassen gibt es wieder eine Anzahl von Hausmodellen. Dachüberstände entstehen durch Verschneiden mit Grundrissdaten. Die Daten werden im eigenen V3D-Format gespeichert.

Die Texturen der Dächer werden automatisch, unter Verwendung der Dachumringpolygone, aus Luftbildern entnommen. Fassadentexturen entstehen durch terrestrische Objektfotografien. Generische Texturen sind möglich. Allerdings können nur ganzfassadige Texturen verwendet werden. Als Geländetextur werden Orthofotos eingebracht.

*Braun, Cremers, Englert, Förstner, Gülch, Kolbe, Müller, Läbe, Lang, Plümer 1995-1999*

Das Softwarepaket ObeX [Gülch et al 1999] des Instituts für Photogrammetrie an der Universität Bonn ist für die semi-automatische Generierung eines 3D-Stadtmodells gedacht. Es wurde beginnend mit der Entwicklung von HasE [Braun et al 95], HasE+ [Englert et al 96, Gülch 96] und anschließend ObeX [Lang et al 96] bis zur Version 1.0 [Förstner 99] entwickelt und immer weiter verbessert.

Zum Verfahren: Ein Operateur wählt ein Gebäude aus einem Luftbilddatensatz aus und bestimmt eine parametrisierte Grundform. Die Grundform wird durch eindeutige Punkte quasi über den Datensatz gestülpt und damit das Modell erstellt. So sind z. B. für ein Satteldach 3 Messpunkte erforderlich (1 Bodenpunkt, 2 Giebelpunkte). Weitere Merkmale des Verfahrens sind die Nutzung intuitiver Drahtgittermodell-Cursor sowie automatische Höhenmessung.

Durch Unterstützung der manuellen Messung mit automatische Parameterbestimmung wird zügiges und wirtschaftliches Erfassen dreidimensionaler Gebäudedaten möglich. Einfach strukturierte Gebäude können in sehr kurzer Zeit (< 30 sec) erfasst werden. Komplex aufgebaute Häuser benötigen die Entwicklung konkreter Vorgehensstrategien.

*Lang 1999*

In der Komponentenbasierten Gebäuderekonstruktion [Lang 99] wird ein automatischer Ansatz beschrieben. Voraussetzung sind sich mehrfach überlappende Bilder des Extraktionsobjektes. Daraus werden Objekte durch Fremddatenunterstützung (DHM, Farbinformation oder GIS-Daten) detektiert.

Zur Rekonstruktion wird der zweidimensionale Bildraum betrachtet. Punkte, Kanten und Bereiche sind das Ergebnis der Anwendung der Feature-Extraktionssoftware FEX [Fuchs et al 98] auf den Datensatz. Aus Punkten und Kanten werden unter Verwendung von Kolinearität und Koplanarität Eckpunkte erkannt. Diese Eckpunkte sind unter Ausnutzung einer Gebäudeecken-Struktur Gebäudeecken zugeordnet. Aus den Gebäudeecken werden Gebäudebestandteile (Terminatoren und Konnektoren) gebildet, welche schließlich zusammengesetzt die Gebäuderekonstruktion ergeben.

Das Verfahren ist hochautomatisiert. Allerdings ist es notwendig, dass alle Gebäudeecken in den Bildern eingesehen werden können. Dabei kann es zu

Störeinflüssen durch die Fassadentextur kommen [Lang 99]. Die Texturierung der Objekte wird nicht behandelt.

### *Gleixner, Kranjec, Ranzinger 1995-1998*

Das Verfahren GO3DM (GIS-Objekte in 3D-Modellen) wurde von der Fa. Grintec, Graz [Gleixner et al 95] im Zuge eines Projektes mit dem Magistrat der Stadt Graz entwickelt und 1998 vorgestellt. Die weitere Entwicklung des Produktes ist zumindest vorläufig eingestellt, da sich das Unternehmen inzwischen mit anderen inhaltlichen Schwerpunkten befasst. GO-3DM basiert auf bestehenden GIS-Datenbeständen.

In größeren Städten finden sich oft flächendeckend Katasterdaten, des weiteren werden große Anstrengungen unternommen, den Naturbestand im öffentlich zugänglichen Straßenraum terrestrisch zu erfassen. Die übrigen Bereiche werden photogrammetrisch ausgewertet. Dachausmittlungen werden projektbezogen erfasst.

Es handelt sich in der Regel um auf die Ebene projizierte Punkt-, Flächen- und Linienobjekte. Die zugrunde liegende Geometrie liegt in vielen Fällen dreidimensional vor.

GO-3DM verwendet diese GIS-Daten, um in einem an Style-Sheets erinnernden automatischen Konvertierungsprozess dreidimensionale Objekte zu erzeugen. Folgende Objekte können automatisch generiert werden: Höhenmodell, Gebäude mit Dächern, Verkehrszonen, Grünzonen und Bäume sowie Spezialobjekte, wie z. B. Verkehrszeichen oder Zäune. Wie detailliert das Modell ist, hängt ausschließlich von Art und Umfang vorhandener Ausgangsdaten ab. Die Ergebnisdaten können mit einer Vielzahl von Standardpaketen weiter bearbeitet werden.

### *Koppers 2002*

In dem Typenbasierten Ansatz können insgesamt 16 verschiedene Dachformen, die ca. 95 % der Formen der mitteleuropäischen Dächer abdecken, gestaltet werden. Soweit möglich, werden Daten aus bestehenden Datenbeständen integriert, beispielsweise Grundrisse oder Höheninformationen. Weitere Datenquellen sind Regeln, die für ganze Bereiche gelten, beispielsweise Bebauungspläne. Sind detaillierte Darstellungen notwendig, werden die zugehörigen Informationen ermittelt und als Attribut ergänzt. Beispiel hierfür ist die Fensterverteilung. In einer ersten Näherung können Erfah-

rungs- bzw. Schätz- oder Annahmewerte verwendet werden. Gebäudedarstellungen, basierend auf dieser Modellierung, können, je nach gewünschter Detaillierung, Aufwand oder Datenlage, skalierbar gestaltet (Bild 4) und dennoch auch in unterschiedlichen Detailstufen nebeneinander verwendet werden. So wird die sukzessive Bildung größerer Stadtmodelle unterstützt. Im Modell ist die Erstellung von Bäumen vorgesehen. Für die Texturierung aller Objekte wird eine spezielle Form von Materialbibliothek verwendet, die bedarfsabhängig vom Benutzer ergänzt werden kann.



*Bild 4:*  
Gebäudevisualisierung

Quelle: Koppers 02

Mit der parallel zu diesem Verfahren entwickelten Urban Modeling Language (UrbML) wird der Versuch einer auf XML basierenden standardisierten Beschreibung von Gebäude- und Vegetationsobjekten unternommen.

*Liedke und Grau 1997-2000*

Der Ansatz von [Liedtke 97, Grau 00] basiert auf AIDA, einem Wissensbasierten Bildinterpretationssystem, welches auch in der Fernerkundung Anwendung findet.

Bei diesem Ansatz wird zunächst mit einem stereoskopischen Schätzverfahren eine Tiefenkarte aus Messbildern geschätzt. Dann werden gerade Konturlinien aus den Kamerabildern extrahiert. Unter Verwendung der Segmentierung wird schrittweise eine Bedeutungszuweisung durchgeführt. Dazu werden Hypothesen erstellt, die anschließend falsifiziert werden. Bei Auftreten konkurrierender Mehrdeutigkeiten werden diese verfolgt, bewertet und ausgewählt. Dazu wird ein Restkostenabschätzungsverfahren verwendet.

Zur Texturierung werden Texturkarten verwendet, die automatisch aus den Ausgangsbildern gerechnet werden. Die Textur eines Objektteils wird über der erkannten Geometrie aus dem Ausgangsbild entnommen, perspektivisch entzerrt und qualitativ angeglichen. Hieraus entsteht eine für VRML 97 direkt interpretierbare Texturkarte. Durch Akkumulation aus Teilansichten können die Texturkarten auch bei teilweise verdeckten Objektteilen gewonnen werden.

Die vorgestellte Vorgehensweise setzt diffuses Licht für die Datenerfassung voraus. Die Körper müssen eine gewisse Texturierung aufweisen [Grau 00]. Auch hier gilt, dass alle relevanten Gebäudekanten in den Bildern zu finden sein müssen.

### *Rottensteiner 2001*

Das von [Rottensteiner 01], [IPF Wien] vorgestellte Verfahren ist in seiner Funktionsweise dem ObEx-Verfahren [Lang et al 96] sehr ähnlich, jedoch vielfältiger. Ein halbautomatischer Ansatz wurde bewusst gewählt. Die Ergebnisse der automatischen Verfahren sind allesamt mit Fehlern behaftet. Die Suche nach diesen Fehlern dauert länger und ist damit häufigt unwirtschaftlicher, als der Erstellungsprozess bei halbautomatischen Verfahren.

Bei diesem Verfahren wählt der Operateur ein geometrisches Primitiv aus einer Vielzahl von Möglichkeiten. Das Primitiv wird mittels Zuweisung eindeutiger Eckpunkte zur Luftbildsituation abgelegt. Mehrere Primitive bilden dann das Gebäude. Dieses kann dann gespeichert werden.

### *Weitere Verfahren und Vorgehensweisen*

Die hier vorgestellte Übersicht erhebt bei weitem keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Zu weiteren Forschungsgruppen und Ergebnissen führen beispielsweise die Internetverweise [CMU], [CVL], [CVRL], [EPFL], [DCS], [IPF Karlsruhe] oder [VISICS].

## **4 Visionen**

Die Entwicklung der 3D-Stadtmodelle hat im Grunde gerade erst begonnen. Lediglich die Arbeiten zum Detailproblem der Gebäudemodelle können als recht weit fortgeschritten bezeichnet werden. Weitere Arbeiten sind zur Modellierung urbaner Objektarten, wie Straßen, Schilder- und Signaleinrichtungen, Zäune, Mauern und andere Themen durchzuführen. Weitere Per-



*Bild 5: 3D-Stadtmodell mobil*

spektiven ergeben sich aus der Integration der 3D-Stadtmodelle in andere Hardware. Mit steigender Rechenleistung mobiler Geräte wird auch die 3D-Darstellung auf Handhelds (Bild 5) realistisch.

Mit dem kürzlich verabschiedeten Standard Open GL ES steht auch für solche Geräte eine 3D-Bibliothek zur Verfügung. Anwendungen sind hier beispielsweise um 3D-Elemente ergänzte Navigationssysteme, wie in Bild 6 dargestellt. Die geringe Speicherkapazität derartiger Geräte kann zukünftig durch die Verwendung von UMTS-Verbindungen zur Datenübertragung ausgeglichen werden.



*Bild 6: Ergänzende Informationen zu Objekten in Mixed Reality*

Quelle: Advanced Computing Research Centre

Eine weitere zukünftige Anwendung der 3D-Stadtmodelle liegt im Bereich der Mixed Reality. In der Mixed Reality wird eine Mischung von real existierender Information mit künstlich erzeugter Information verwendet. Eine mögliche Technikanwendung ist die Einblendung zusätzlicher Informationen in ein durchsichtiges Display. Dabei kann es sich um Informationen über Objekte handeln, die lagerichtig zum Objekt das Bild ergänzen. Neben einer guten Datensituation zu der jeweiligen Region, ist für derartige Anwendungen eine gute Kenntnis der Position des Displays wichtig.

Eine weitere Wirklichkeit und Fiktion vermischende Darstellung von 3D-Stadtmodellen ist die lagerichtige Einblendung von Objekten (Bild 7). Mit Hilfe dieser Darstellung erhofft man sich besonders realitätsnahe Eindrücke und Beurteilungen von Planungen.



*Bild 7:*  
Mixed Reality: Integration  
von Planungen in die Wirk-  
lichkeit

Quelle: Baldegger, ETH Zürich

## 5 Ausblick

Sind es Planungsszenarien, Simulationen, Verkauf, Tourismus, Ortung oder Navigationshilfen — 3D-Stadtmodelle werden in ihrem praktischen Nutzen immer interessanter. 3D-Stadtmodelle haben viele Vorteile: Sie bieten Verständnis für räumliche Zusammenhänge, häufig besteht die Möglichkeit zur Interaktion und die Kosten für die Darstellung halten sich in Grenzen. Die Vorteile werden umso größer, je mehr es gelingt, 3D-Stadtmodelle in mobile Anwendungen und natürliche Wahrnehmungstechniken zu integrieren.

Den Vorteilen stehen die Kosten für die Beschaffung oder Erhebung der Daten entgegen. Neben einer höheren Anzahl geometrischer Daten sind mit Informationen zur Oberflächenbeschaffenheit auch andere Datentypen erforderlich. Fehlende Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Modellen und Datenstrukturen führen zu Beschaffungs-, Entwicklungs- und Anwendungshemmnissen. Zudem kommt der reinen Existenz z. B. einer Visualisierung eines 3D-Stadtmodells nur geringe Bedeutung zu. Das Modell muss ähnlich einem Text gut les- und interpretierbar sein. Dies bedeutet die Anwendung erweiterter kartographischer Grundsätze, deren Entwicklung ansteht.

Werden diese und weiterführende Problemstellungen akzeptabel gelöst, steht zu erwarten, dass 3D-Stadtmodelle einen festen und bedeutenden Platz in der geodätischen Familie einnehmen werden und Einzug in die tägliche Berufspraxis halten.

## Literatur

- Ameri, B.*, 2000: Automatic Recognition and 3D Reconstruction of Buildings from Digital Imagery, DGK C 526, München, [ISBN 3 7696 9565 8]
- Baillard, C.; Schmidt, C.; Zisserman, A.; Fitzgibbon, A.*, 1999: Automatic line matching and 3D Reconstruction of Buildings from multiple views, in International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 32, S. 69-80, München
- Bartel, S.; Bill, R.; Boytscheff, C.; Königer, C.*, 1997: Datenfusion zur Erstellung realitätsnaher 3D-Geoinformationssysteme für städtebauliche Planungen, Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung (ZPF), Jg. 1997, S. 129-137, [ISSN 0937-9800]
- Bartels, R.; Beatty, J.; Barsky, B.*, 1987: An Introduction to Splines for Use in Computer Graphics and Geometric Modeling, Morgan Kaufmann, Los Altos, [ISBN 0-934613-27-3]
- Braun, C.; Kolbe, Th.; Lang, F.; Schickler, W.; Steinhage, V.; Cremers, A. B.; Förstner, W.; Plümer, L.*, 1995: On the Models for Photogrammetric Building Reconstruction, Computer & Graphics, 19, pp. 109-118
- Brenner, C.*, 2000: Dreidimensionale Gebäuderekonstruktion aus digitalen Oberflächenmodellen und Grundrissen, DGK C 530, München, [ISBN 3 7696 9569]
- Brenner, C; Haala, N.*, 2000: Erfassung von 3D Stadtmodellen, Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (PFG), Jg. 2000, S.109-118, [ISSN 1432-8364]
- Brunner, K.*, 2002: Elektronische Bildanzeige von Geoinformation, Kartographische Schriften, Jg. 2002, S. 138-144 [ISSN 0022-9164]
- Dorffner, L., Forkert, G.*, 1999: Photomodelle als Basis eines interaktiven dreidimensionalen Gebäudeinformationssystems, Tagungsband CORP 99, Wien, S. 413-420
- Fitzgibbon, A.; Zisserman, A.*, 2000: Automatic 3D Model Acquisition and Generation of new Images from Video Sequences, University of Oxford, Zugriff unter [www.robots.ox.ac.uk/~vgg/vggpapers/Fitzgibbon98b.ps.gz](http://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/vggpapers/Fitzgibbon98b.ps.gz)
- Förstner, W.*, 1999: 3D-City Models: Automatic and Semiautomatic Acquisition Methods, Photogrammetrische Woche, Stuttgart
- Fuchs, C.; Heuel, St.*: Feature Extraction in Förstner, Wolfgang (ed.) Proc. of Third Course in Digital Photogrammetry, Bonn, 1998
- Gleixner G.; Kranjec, E.; Ranzinger, M.*, 1995: GIS-Daten als Grundlage für 3D Stadtmodelle in Proceedings zur AGIT 95, Salzburg
- Grau, O.*, 2000: Wissensbasierte 3D-Analyse von Gebäudeszenen aus mehreren frei gewählten Stereofotos, Universität Hannover, Hannover
- Grün, A.; Wang, X.*, 1998: C-Modeler: A Topology Generator for 3-D City Models, in International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 32, S. 188-196, Stuttgart
- Grün, A.; Wang, X.*, 1999: Urban 3D Mapping for a hybrid GIS, Proceedings UM3'99 Urban 3D/Multimedia Mapping, S. 69-78, Tokio

- Gülch, E.; Müller, H., Läbe, T.*, 1999: Integration of Automatic Processes into Semi-Automatic Building Extraction, in International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 32, S. 177-186
- Gülch, E.*, 1996: Extraction of 3D objects from aerial photographs, Proceedings COST UCE Action 4 Workshop "Information Systems and Processes for urban civil engineering", Rom
- Haala, N.*, 1996: Gebäuderekonstruktion durch Kombination von Bild- und Höhendaten, 70 S., DGK C 460, München, [ISBN 3 7696 9502 X]
- Haala, N.; Brenner, C., Anders, K-H.*, 1999: 3D Urban GIS from Laser Altimeter and 2D Map Data, in International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 32, S. 339-346
- Haala, N.; Brenner, C.*, 1999: Extraction of buildings and trees in urban environments, in International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 54, S. 130-137
- Henricsson, O.; Grün, A.*, 1996: Overview of research activities at ETH-Zürich in automated 3-D reconstruction of buildings from aerial images, Tagungsband zur Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Oldenburg, 18.- 20. September 1996
- ISO/IEC14772-1:1997 Virtual Reality Modeling Language
- Klaus, M.*, 1997: Erstellung von 3D-Stadtmodellen für interaktive virtuelle Begehung, Münchner Fortbildungsseminare Geoinformationssysteme, TU München, München
- Koppers, L.*, 1998: 3DMap – Virtual Reality and Geodata, EOGEO 98, Salzburg, [ISBN 3-85283-014-1]
- Koppers, L.*, 2000: Dynamische Visualisierung von 3D-GIS-Daten auf Basis der Internet – Technologie, Mitteilungsblatt des DVW Landesverein Bayern Jg. 52, S. 441-458, [ISSN 0723-6336]
- Koppers, L.*, 2002: Generierung von Objekten für 3D-Stadtmodelle, Online-Dissertation Universität der Bundeswehr München, 2002, <http://137.193.200.177/ediss/koppers-lothar/inhalt.pdf>
- Kraus, K.*, 1999: Beiträge der Photogrammetrie für 3D-Anwendungen, Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme 1999, München
- Lang, F.*, 1999: Geometrische und semantische Rekonstruktion von Gebäuden durch Ableitung von 3D Gebäudeecken, Shaker Verlag, Bonn, [ISBN 3-8265-6619-X]
- Landes, S.*, 1999: Funktionalität des internetbasierten 3D-Campus-Informationssystems der Universität Karlsruhe, DGK C 513, München, [ISBN 3-7696-9551-8]
- Liedtke, C.-E.*, 1998: »Strategien der wissensbasierten Bildinterpretation« 44. DVW- Fortbildungsseminar »Hybride Vermessungssysteme«, 1997, Band 29 der Schriftenreihe des DVW im Verlag Konrad Wittwer, Neubiberg, [ISBN 3-87919-257-X]
- Lorber G.*, 1996: Aufbau eines 3D-Stadtmodells Graz, in Ingenieurvermessung 96, Band 2, D8, Dümmler-Verlag, Bonn, [ISBN 3-427-78111-9]

- Mori, T.; Koiso, K; Tanaka, K.*, 1999: Spatial Data Presentation by LOD Control, Proceedings UM3'99 Urban 3D/Multimedia Mapping, S. 49-56, Tokio
- Rottensteiner, F.*, 2001: Semi-automatic extraction of buildings based on hybrid adjustment using 3D surface models and management of building data in a TIS, Dissertation, IPF Wien, Selbstverlag, Wien
- Ueda, M.; Tokumaru, K.; Sibasaki, R.*, 1999: 3D Modeling of Urban Landscape for Monsoon Asia Environment, Proceedings UM3'99 Urban 3D/Multimedia Mapping, S. 95-101, Tokio
- Weidner U.*, 1997: Gebäudeerfassung aus Digitalen Oberflächenmodellen, DGK C 474, München, [ISBN 3-7696-9514-3]
- Weidner, U.; Foerstner, W.*, 1995: Towards automatic building extraction from high resolution digital elevation models, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 50, S. 38-49

## **Internet**

Der Zugriff auf alle angegebenen Adressen wurde am 26.2.04 geprüft.

AIDA	<a href="http://www.tnt.uni-hannover.de/project/kbs/aida/">http://www.tnt.uni-hannover.de/project/kbs/aida/</a>
Boytscheff	<a href="http://www2.fh-konstanz.de/studium/fachb/wwwag/WS9900/Human1.html">http://www2.fh-konstanz.de/studium/fachb/wwwag/WS9900/Human1.html</a>
CCM	<a href="http://www.cybercity.tv">http://www.cybercity.tv</a>
CMU	<a href="http://www.maps.cs.cmu.edu">http://www.maps.cs.cmu.edu</a>
CUT	<a href="http://www.apx.lvr.de/cut/demo.html">http://www.apx.lvr.de/cut/demo.html</a>
CVL	<a href="http://www.cfar.umd.edu/cvl">http://www.cfar.umd.edu/cvl</a>
CVRL	<a href="http://vis-www.cs.umass.edu">http://vis-www.cs.umass.edu</a>
DCS	<a href="http://www.dcs.uky.edu">http://www.dcs.uky.edu</a>
Digital City Project	<a href="http://www.digitalcity.gr.jp">http://www.digitalcity.gr.jp</a>
EPFL	<a href="http://www.epfl.ch">http://www.epfl.ch</a>
Flatland	<a href="http://www.flatland.com">http://www.flatland.com</a>
Geist	<a href="http://www.tourgeist.de/">http://www.tourgeist.de/</a>
Internet3d	<a href="http://www.internet3d.at">http://www.internet3d.at</a>
IPF Karlsruhe	<a href="http://www-ipf.bau-verm.uni-karlsruhe.de">http://www-ipf.bau-verm.uni-karlsruhe.de</a>

IPF Wien	<a href="http://www.ipf.tuwien.ac.at">http://www.ipf.tuwien.ac.at</a>
JTM	<a href="http://www.ust.ucla.edu/ustweb/Projects/israel.htm">http://www.ust.ucla.edu/ustweb/Projects/israel.htm</a>
Go3DM	<a href="http://www.sbg.ac.at/geo/agit/papers95/ggleixne.htm">http://www.sbg.ac.at/geo/agit/papers95/ggleixne.htm</a>
Inpho	<a href="http://www.inpho.de">http://www.inpho.de</a>
Planet9	<a href="http://www.planet9.com">http://www.planet9.com</a>
Ray	<a href="http://www.akustik.rwth-aachen.de/Lehre/seminar">http://www.akustik.rwth-aachen.de/Lehre/seminar</a>
Schwarz	<a href="http://forschung.unibw-muenchen.de/toocom/content/hlm/">http://forschung.unibw-muenchen.de/toocom/content/hlm/</a>
VRML	<a href="http://web3d.org/">http://web3d.org/</a>
VTP	<a href="http://vterrain.org/Implementation/Libs/buildings.html">http://vterrain.org/Implementation/Libs/buildings.html</a>
VISICS	<a href="http://www.esat.kuleuven.ac.be/psi/visics/">http://www.esat.kuleuven.ac.be/psi/visics/</a>
Web3D	<a href="http://www.web3d.org">http://www.web3d.org</a>