

# 3D-Stadtmodelle Techniken und Anwendungen HARTMUT MÜLLER<sup>1</sup>

*Abstract: 3D city models become the more and more important for many different applications. The paper gives an overview of current application areas and describes three pilot studies dealing with the construction of digital city models. A digital model of a village was created to serve as a base for the visualisation of planning processes. In order to support historical research an undergone scene was digitally reconstructed on the base of old sketches and of true to scale drawings. The third study is concerned with the prediction of wave propagation for mobile telecommunication and proves the suitability of a high quality digital city model as input for a sophisticated electromagnetic wave propagation prediction software tool.*

## 1 Mess- und Auswertetechniken

### 1.1 Laser-Scanning

Beim Laser-Scanning wird von einem Flugzeug aus mit einem Laser fortlaufend die Distanz zur Erdoberfläche gemessen. Eine Inertial-Plattform kontrolliert permanent die räumliche Orientierung des Messstrahls. Die räumliche Position des Aufnahmepunkts wird über Satellitenpositionierungs-Verfahren erfasst. Der Laserstrahl wird quer zur Flugrichtung periodisch nach unterschiedlichen Verfahren bis zu einem bestimmten Winkelwert abgelenkt. Da der Laserstrahl unterschiedslos Punkte auf verschiedensten Objekten (Bäumen, Gebäuden, Gelände) erfasst, müssen die Ergebnisse anschließend mittels mathematischer Filterprozesse klassifiziert werden (FLOOD & GUTELIUS, 1997). Der große Vorteil des Verfahrens im Vergleich zu allen anderen derzeit verfügbaren Verfahren liegt im extrem hohen Automationsgrad. Objekte, z.B. in Form von CAD-Modellen, lassen sich jedoch zur Zeit noch nicht automatisch generieren.

### 1.2 Digitale Photogrammetrie

Im Unterschied zum Laserscan-Verfahren liefern Luftbilder neben der geometrischen auch die semantische Information über die abgebildeten Objekte. Im operationellen Einsatz befinden sich Techniken zur automatischen Orientierung von Messbildern, die lediglich im Hinblick auf die Identifikation von Passpunkten noch auf manuelle Eingriffe angewiesen sind. Digitale Objektmodelle lassen sich jedoch nur dann weitgehend automatisch erzeugen, wenn die zu bestimmenden Oberflächen durch eine große Anzahl regelmäßig oder unregelmäßig verteilter Stützpunkte beschrieben werden (BOOCHS & HEINZ, 1996). Wenn die Objekte konstruktiv geometrisch beschrieben werden müssen, wie es für die Gebäude einer Stadtlandschaft bei höheren Anforderungen der Fall ist, wird zur Zeit mit halbautomatischen Verfahren gearbeitet: der Operateur wird bei der Auswertung durch entsprechende Funktionen der Auswerte-Software intensiv unterstützt, gestaltet den Auswertevorgang jedoch im Wesentlichen weiterhin selbst (GRÜN & WANG, 1998, GÜLCH ET AL., 1999).

---

<sup>1</sup> Prof. Dr.-Ing. Hartmut Müller, i3mainz, Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik, Fachhochschule Mainz, Holzstr. 36, 55116 Mainz, Tel. 06131 2628-12, Fax 06131 2628-15, e-mail mueller@geoinform.fh-mainz.de

### **1.3 Datenmodelle**

Herkömmlich werden geodätische und photogrammetrische Daten meist getrennt nach Lage und Höhe erfasst. CAD-Datenmodelle beschreiben die Objekte einer Stadtlandschaft konstruktiv-geometrisch vollständig dreidimensional, Geo-Informationssysteme verwalten die dritte Dimension normalerweise als Attribute zweidimensionaler Objekte. Da das Anwendungsspektrum von 3D Stadtmodellen sehr breit gefächert ist (siehe Abschnitt 2), existieren keine allgemein akzeptierten Standards zur Definition digitaler Objektmodelle (FÖRSTNER, 1999). CAD- und GIS-Funktionalität sind in Zukunft zu vereinen, um digitale Objekte von Stadtlandschaften angemessen erfassen, modellieren, verwalten, analysieren und präsentieren zu können.

## **2 Anwendungsspektrum**

### **2.1 Telekommunikation**

Die Computersimulation der Funkwellen-Ausbreitung benötigt hier Form, Material und Rauigkeit der Gebäudeoberflächen. Für die zutreffende Ausbreitungsmodellierung elektromagnetischer Wellen im GHz-Bereich müssen u.a. sämtliche Dachkanten mit hoher geometrischer Genauigkeit bekannt sein: eine geringe Änderung der relativen Höhe eines Senders zu in etwa gleicher Höhe liegenden Dachkanten bringt eine erhebliche Änderung der Ausbreitungseigenschaften mit sich. Mangels vorhandener Daten wird zur Zeit oft noch mit empirischen Modellen ungenügender Genauigkeit gearbeitet. Hochwertige Rechenmodelle setzen auf aktuellen detaillierten digitalen Modellen des zu simulierenden Gebiets auf.

### **2.2 Ausbreitung von Verkehrslärm**

Gebäude und andere feste Hindernisse beeinflussen die Auswirkungen von Verkehrslärm erheblich. Dies liegt vor allem daran, dass sich sowohl die lärmemittierenden Fahrzeuge als auch die interessierenden Immissionsorte in der Regel in der bodennahen Luftschicht befinden. Die Berechnungen zur Lärmbelastung sind derzeit von empirischen Vorgehensweisen geprägt (Benutzung von Diagrammen etc., siehe STÄDTEBAULICHE LÄRMFIBEL, 1991). Modelle auf physikalischer Basis, die genauere Aussagen liefern könnten, benötigen die Objektformen und die Oberflächeneigenschaften aller Objekte, die die Schallausbreitung merkbar beeinflussen.

### **2.3 Schadstoffberechnung in Straßenschluchten**

Die Ausbreitung von Schadstoffen in Straßenschluchten unterliegt wesentlich anderen Randbedingungen als die Ausbreitung an relativ frei liegenden Straßen. Modelle, die die Wirbelbildung berücksichtigen, können lediglich zur groben Abschätzung der Immissionssituation in Straßenschluchten herangezogen werden (STÄDTEBAULICHE KLIMAFIBEL, 1993). Wenn ein digitales Stadtmodell vorhanden ist, können auch komplexere Modelle, die das örtliche Strömungsfeld detailliert abbilden (z.B. Lagrange-Modelle), eingesetzt werden (WELSCH, 1998). Weitere stadtklimatologische Untersuchungen, z.B. zur Durchlüftung und zu Kaltluftabflüssen (ZENGER ET AL., 1992), profitieren ebenfalls von qualitativ hochwertigen digitalen Stadtmodellen.

### **2.4 Räumliche Bewertung des menschlichen Bioklimas**

Bei Untersuchungen des menschlichen Bioklimas, beispielsweise mit dem fortgeschriebenen Klima-Michel-Modell (JENDRITZKY ET AL., 1990) spielt die Oberflächenstrahlung im Nahbereich - also innerhalb weniger Meter - eine wesentliche Rolle. Diese Strahlung ist ab-

hängig von der Reflexionseigenschaft der Oberflächen. Simuliert man einen bestimmten Weg, auf dem sich der Klima-Michel bewegt, so lassen sich beispielsweise die Auswirkungen geplanter Gebäude auf den Biokomfort dieses Klima-Michels quantifizieren, wenn die geometrischen und die radiometrischen Eigenschaften aller Objekte bekannt sind, die auf das Bioklima einwirken.

## **2.5 Herstellung von Architektenmodellen**

Bis heute werden erhebliche Projektmittel, bei Architektenplanungen nach Schätzungen bis zu etwa 15% der gesamten Projektkosten, in den Bau maßstabsgetreuer Modelle der Wirklichkeit investiert. Falls man beispielsweise aus Gründen der Anschaulichkeit am Modellbau festhalten will, können digitale Stadtmodelle in einer ersten Stufe die geometrischen Informationen zu Gelände- und Gebäudeformen als Voraussetzung für den manuellen Modellbau liefern. Da die Daten jedoch digital in strukturierter Form vorliegen, können sie auch direkt zur Steuerung maschineller Herstellungsprozesse (z.B. über CNC-Steuerungen) benutzt werden. Das Modell kann dann vollständig automatisch entstehen, indem es von computergesteuerten Werkzeugen aus einem Werkstück herausgearbeitet wird.

## **2.6 Modelle für Untersuchungen im Windkanal**

Untersuchungen im Windkanal werden als grundsätzliche Alternative zu numerischen Modellrechnungen ausgeführt: auch hier wird oft eine maßstäbliche Nachbildung der topographischen Situation benötigt. Anwendungsbeispiel: wie verändert eine geplante Erddeponie das lokale Windfeld und damit das Kleinklima? Als weitere Anwendungsbeispiele sollen genannt sein: Änderung des Wind- und Klimakomforts durch geplante Bauvorhaben, Ausbreitung von Kfz-Emissionen im bebauten Gebiet. Der hier notwendige aufwendige manuelle Modellbau kann mit digitalen 3D-Modellen entweder unterstützt oder, in einfachen Fällen, vollständig ersetzt werden.

## **2.7 Verschattungsuntersuchungen**

Bei Verschattungsuntersuchungen wird das herkömmlich erzeugte Modell mit einer starken Lichtquelle beleuchtet, die in diesem Fall die Funktion der Sonne übernimmt. Die Verschattungsbilder werden fotografisch dokumentiert und ausgewertet. Auf diese Weise untersucht man die Auswirkungen größerer geplanter Bauvorhaben auf die bestehende Stadtlandschaft, um Entscheidungsgrundlagen für eine energiebewusste Bauleitplanung zu schaffen. Solche Arbeiten können komplett durch eine exakte Computersimulation ersetzt werden, wenn der Geländeverlauf einschließlich aller Erhebungen, vor allem in Form von bestehenden oder geplanten Gebäuden, als 3D-Modell im Rechner vorliegt.

## **2.8 Unterstützung von Planungsaufgaben durch Visualisierung virtueller Realitäten**

Wenn es sehr stark auf den visuellen Eindruck ankommt, muss den optischen Eigenschaften der Oberflächen, insbesondere Farbe und Textur, besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Um wirklichkeitsnah wirkende Bilder, Animationen etc. zu erzeugen, müssen deshalb digitale fotografische Bilder zum Einsatz kommen. Solche Bilder lassen sich nach den bekannten Standardverfahren der digitalen Photogrammetrie als „Gummituch“ digital über dreidimensionale Gebäudeformen ziehen. Damit steht dann die volle semantische Information einer Fotografie verbunden mit ihrer mathematischen Zuordnung zur dreidimensionalen Wirklichkeit zur Verfügung und lässt sich für multimediale Präsentationen in beliebiger Form nutzen.

### 3 Anwendungsbeispiele

#### 3.1 Aktuelle Ortsszene

Stadt- und Landschaftsplaner, Entscheidungsträger und die interessierte Öffentlichkeit profitieren von der Simulation geplanter Szenarien. Animierte Darstellungen der durch die Planung veränderten Landschaft vermitteln sehr viel anschaulichere Eindrücke als Pläne und ähnliche grafische Darstellungen dies können. Als Demonstrationsbeispiel wurde die Ortschaft Evolène in den Schweizer Alpen in ein digitales Modell abgebildet (Müller, 1997). Die geometrische Information wurde aus konventionellen Luftbildern und Fassadenaufnahmen gewonnen (siehe Abb. 1). Da es in erster Linie auf den optischen Eindruck ankam, kam ein einfaches parametrisches Modell zum Einsatz: sämtliche Gebäude sind als Quader mit aufsitzendem Prisma definiert, so dass die vier Parameter Länge, Breite, Höhe und Dachhöhe die Geometrie vollständig beschreiben (siehe Abb. 2). Die Textur der Oberflächen wurde zum Teil als landschaftstypische Standardtextur, zum Teil aus spezifischen Fassadenaufnahmen generiert. Die Abbildung 2 zeigt ein Einzelbild aus einer Videosequenz, die aus insgesamt etwa 1000 Bildern besteht und eine Ortsdurchfahrt mit einem Fahrzeug entlang der Hauptstraße simuliert.



Abb. 1: Luftbilder und Fassaden-Fotografien als Eingangsdaten

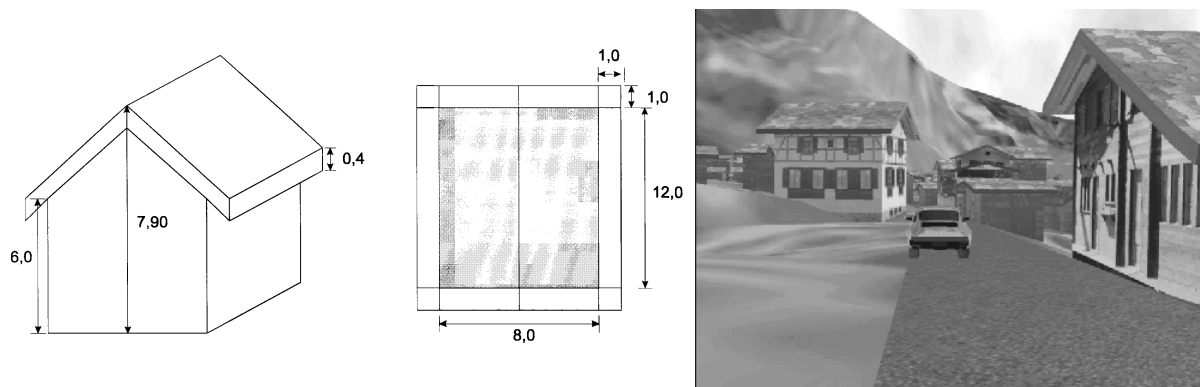


Abb. 2: Parametrisiertes Gebäudemodell und Einzelbild aus Videoclip

### 3.2 Untergegangene historische Ortsszene

Während sich Planung mit zukünftigen Szenarien befasst, beschäftigt sich die historische Forschung mit vergangenen Zuständen. Die Siedlungurtscheid bei Aachen war im 18. Jahrhundert eine bedeutende Tuchmacherstadt. Die für die historische Forschung vor allem interessante Hauptstraße wurde im zweiten Weltkrieg fast vollständig zerstört. Aus alten Unterlagen und Vergleichen mit der derzeitigen Bebauung wurde ein digitales Modell der historischen Situation generiert (Simon, 2000). Großformatige Tafeln, die die Fassadenfronten um 1910 im Massstab 1:100 darstellen (Abb. 3), wurden als digitale Rasterbilder erfasst und dienten als geometrische und textuelle Basis für die digitale Rekonstruktion der Gebäude. Die Grundrisse wurden aus den Handrissen der Urvermessung aus dem Jahr 1832 rekonstruiert (Abb. 4). Das generierte digitale Modell der Hauptstraße, bestehend aus insgesamt 85 Gebäuden, konnte an Hand von 5 Gebäuden überprüft werden, die noch unverändert erhalten geblieben sind. Abbildung 4 zeigt ein Einzelbild aus einem Videoclip, der aus einer vordefinierten Videosequenz der rekonstruierten Straßenszene besteht.

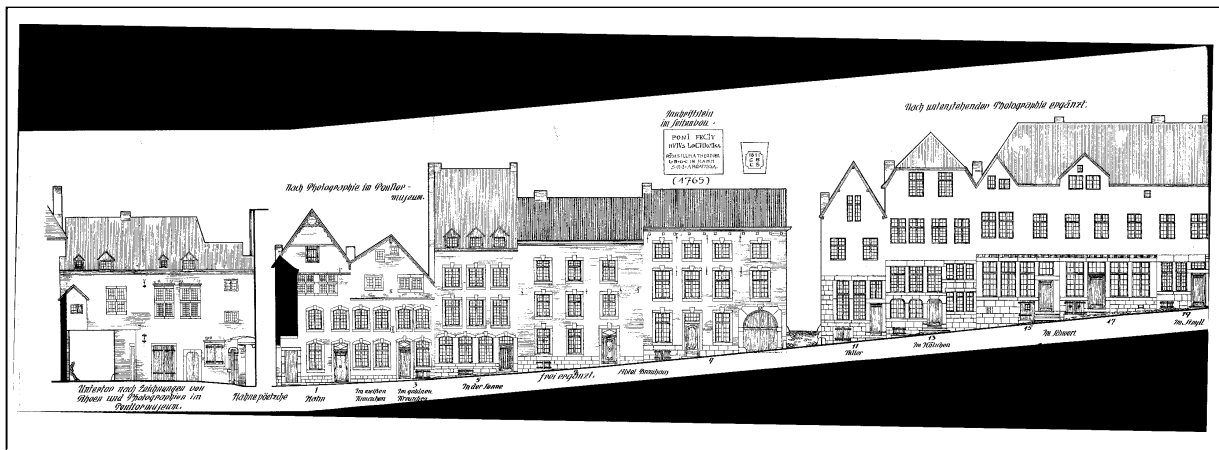


Abb. 3 Tafel mit Darstellung einer Fassadenfront (Originalmaßstab 1:100)

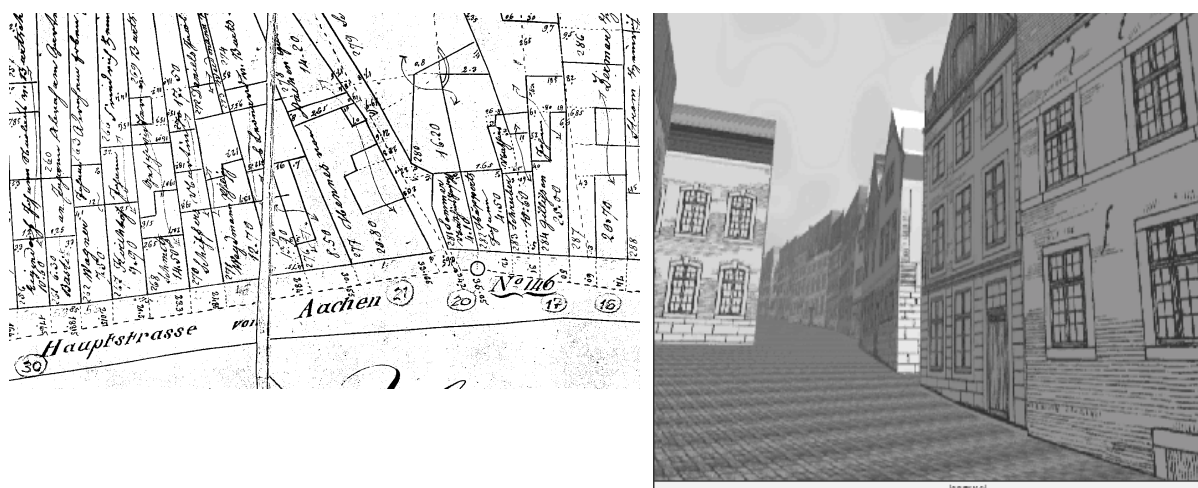


Abb. 4: Handriss von 1832 und Einzelbild aus Videoclip



### 3.3 Aktuelle Innenstadtzone

Bei der Planung von Mobilfunknetzen wird die Ausbreitung von Funkwellen simuliert, um so zu einer geeigneten Verteilung von Sendern zu kommen, die das untersuchte Gebiet möglichst lückenlos versorgen sollen. In offenem Gelände liefern empirische Simulationsmodelle gute Ergebnisse. Für dicht bebaute Gebiete empfiehlt es sich jedoch, mit deterministischen Simulationsalgorithmen zu arbeiten, die die einzelnen Ausbreitungsstrahlen verfolgen (Ray-Tracing und Ray-Launching, siehe PLENGE & SCHEIBENBOGEN, 1996). Diese Algorithmen benötigen ein detailliertes 3D Stadtmodell als Eingangsgröße, in dem neben den Gebäude-Oberflächen auch deren Reflexionseigenschaften enthalten sind. In einem Pilotprojekt (Engelmann, 1998, Habermehl, 1999) wurde für ein etwa 1 qkm großes Gebiet in der Frankfurter Innenstadt (Abb. 5) ein digitales Stadtmodell erzeugt. Die Versorgung, die durch einen einzelnen Sender, der sich mit einer bestimmten Sendecharakteristik an einem bestimmten Standort befindet, erreicht werden kann, wurde mit einem Simulationsprogramm (AWE, 2000) prognostiziert (Abb. 6).

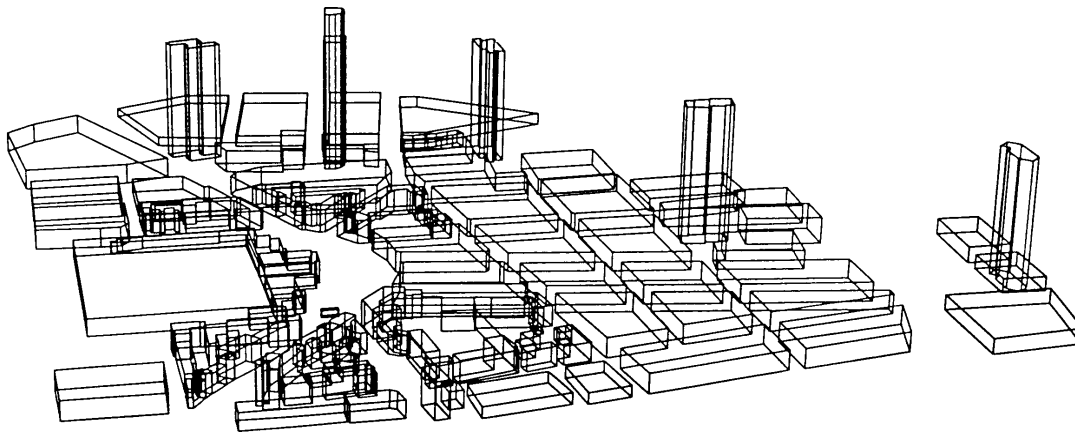
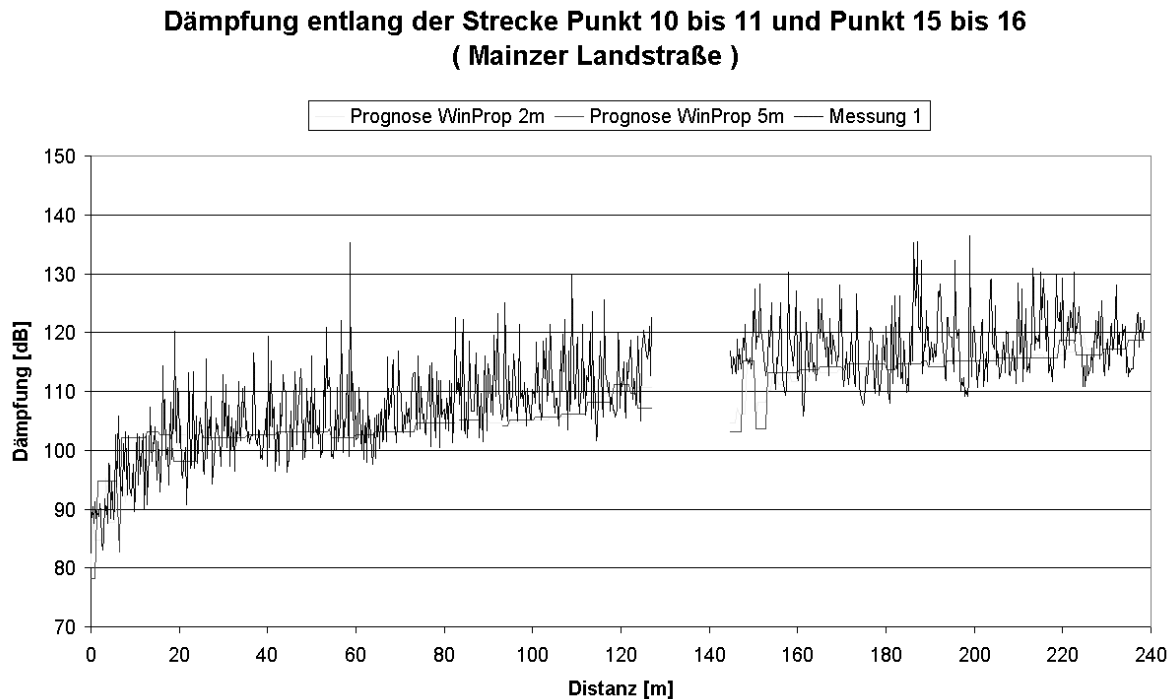


Abb. 5: Blockmodell Innenstadt Frankfurt



Abb. 6: Ergebnis einer Ausbreitungsrechnung

Die tatsächlich mit einem solchen Sender erreichte Versorgung wurde mit einem Messfahrzeug registriert und den simulierten Werten gegenüber gestellt. Abbildung 7 zeigt eine gute Übereinstimmung für zwei Messlinien, die lediglich auf indirektem Weg versorgt sind, also über Funksignale, die bereits an Gebäuden und am Boden reflektiert sind.



## 4 Weitere Entwicklung

Das städtische Umfeld verändert sich dynamisch. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an die Aktualität digitaler Daten. Um schnelle Entwicklungen zeitnah dokumentieren zu können, ist eine weitere Automatisierung der Datenerfassungsmethoden unbedingt wünschenswert. Um das gesamte Anwendungsspektrum digitaler Stadtmodelle abdecken zu können, ist eine durchgängig dreidimensionale Datenverarbeitung notwendig. Der gesamte Komplex der raumbezogenen Datenverarbeitung – Erfassung, Modellierung, Verwaltung, Analyse und Präsentation – ist von dieser Anforderung betroffen und muss sich entsprechend weiter entwickeln.

Um digitale Daten einem breiten Anwenderkreis praktisch verfügbar zu machen, muss eine Infrastruktur zur Datenverbreitung aufgebaut werden. Die in den raumbezogenen Datenbanken gespeicherten Daten müssen an Hand der darüber gespeicherten Informationen (Metadaten) von den potenziellen Nutzern hinsichtlich ihrer Eignung für einen bestimmten Zweck bewertbar sein. Die Aktivitäten der internationalen Normungsorganisation ISO (ISO, 2000, siehe auch REDDY ET AL., 2000) in Verbindung mit dem OpenGIS Consortium (OGC, 2000) sind hier von besonderer Bedeutung.

Von den beteiligten Fachleuten wird interdisziplinäre Kommunikationsfähigkeit verlangt, um die sehr unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Fachdisziplinen an ein digitales Stadtmodell sowie die gebräuchlichen Fachbegriffe adäquat interpretieren zu können.

## 5 Literaturverzeichnis

- AWE (2000): WINPROP, Software tool for the Planning of Mobile Communication Networks and for the Prediction of the Field Strength in Urban and Indoor Environments. <http://www.winprop.de>.
- BOOCHS, F. & HEINZ, G. (1996): Generation and Use of Digital Surface Models for Volume Objects. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXI, Part B3, Comm. III, pp. 70-76.
- ENGELMANN, CHR. (1998): Digitales Stadtmodell für die Interferenzanalyse im Mobilfunk. Fachhochschule Mainz, Diplomarbeit, unveröffentlicht.
- FLOOD, M. & GUTELIUS, B. (1997): Commercial Implications of Topographic Terrain Mapping Using Scanning Airborne Laser Radar. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, April 1997, 327-366.
- FÖRSTNER, W. (1999): 3D-City Models: Automatic and Semiautomatic Acquisition Methods. In: Dieter Fritsch / Rudolf Spiller (Eds.), *Photogrammetric Week '99*, Wichmann, Heidelberg, 1999, pp. 291-303.
- GRÜN, A. & WANG, X. (1998): CC-Modeler: A Topology Generator for 3D City Models, *IAP*, Vol. 32, Part 4, pp. 188-196.
- GÜLCH, E., MÜLLER, H. & LÄBE, T. (1999): Integration of Automatic Processes into Semi-Automatic Building Extraction, *IAP*, Vol. 32, Part 3-2W5.
- HABERMEHL, T. (1999): Einsatz von IDL/ENVI in der Mobilfunkplanung. Fachhochschule Mainz, Diplomarbeit, unveröffentlicht.
- ISO (2000): International Standard Organisation, Technical Committee 211, Geographic Information / Geomatics, <http://www.statkart.no/isotc211>.
- JENDRITZKY, G., MENZ, G., SCHMIDT-KESSEN, W. & SCHIRMER, H. (1990): Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen, Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell. *Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung*, Nr. 114, Hannover.
- OGC (2000): OpenGIS Consortium, <http://www.opengis.org>.
- PLENGE, C. & SCHEIBENBOGEN, M. (1996): Propagation prediction for outdoor DECT-systems. *Lehrstuhl für Kommunikationsnetze, RWTH Aachen, Jahresbericht 1994-1996*, S. 176ff.
- REDDY, M., IVERSON, L. & LECLERC, Y. G. (2000): GeoVRML 1.0, Adding Geographic Support to VRML. *Geoinformatics*, Vol. 3, September 2000, pp. 18-21.
- SIMON, T. (2000): Digitale Rekonstruktion einer historischen Straße. Fachhochschule Mainz, Diplomarbeit, unveröffentlicht.
- STÄDTEBAULICHE KLIMAFIBEL, HINWEISE FÜR DIE BAULEITPLANUNG, FOLGE 2 (1993), Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg.
- STÄDTEBAULICHE LÄRMFIBEL, HINWEISE FÜR DIE BAULEITPLANUNG (1991), Innenministerium Baden-Württemberg.
- WELSCH, J. (1998): Schadstoffausbreitung an Straßen. Fachhochschule Mainz, Diplomarbeit, unveröffentlicht.
- ZENGER, A., BÄCHLIN, W. & LOHMEYER, A. (1992): Windkanaluntersuchungen als Hilfsmittel zur stadtklimatologischen Baufolgenabschätzung. *Annalen der Meteorologie* Nr. 28, Int. Tagung für Human-Biometeorologie, 46-48, DWD, Offenbach.