


# Die Stadt in 3D

## DREIDIMENSIONALE STADTMODELLE AUS LASERSCANNING

  
 Virtuelle dreidimensionale  
 Stadtmodelle dienen nicht nur  
 der Tourismusinformation,  
 sondern werden auch für Fahr-  
 zeugnavigation, Stadtplanung  
 oder Bauprojektierung  
 immer mehr zur  
 unentbehrlichen Grundlage.  
 Doch die Erfassung  
 solcher Modelle ist aufwändig.  
 Verwendet man Fotos,  
 ergeben sich dreidimensionale  
 Strukturen erst durch  
 eine Bildinterpretation,  
 deren Automatisierung sich als  
 schwierig erweist.



### Einführung

Unter dreidimensionalen Stadtmodellen versteht man im Allgemeinen die Beschreibung von Geländeoberfläche, Straßen, Gebäuden und Vegetation innerhalb von bebautem Gebiet. Dabei wird heute vorwiegend von einer digitalen Beschreibung, das heißt von »virtuellen« Modellen ausgegangen, welche in vielfältiger Weise verarbeitet, in Geoinformationssysteme eingespeist und durch Methoden der Computer-Grafik visualisiert werden können.

Das Interesse an derartigen dreidimensionalen Stadtmodellen ist in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen.

Zur klassischen Hauptanwendung im Bereich der Planung von Antennenstandorten für Mobilfunknetze haben sich inzwischen viele weitere gesellt, welche sich in den jeweiligen Anforderungen unterscheiden.

Zu nennen sind beispielsweise dreidimensionale Fahrzeugnavigationssysteme, virtuelle Tourismus-Informationssysteme und die Visualisierung für Stadtplanung, Bauprojektierung und Architekturwettbewerbe.

In manchen Orten erfassen und vertreiben Stadtvermessungsämter dreidimensionale Stadtmodelle auf regulärer Basis im Rahmen ihres Geoinformations-Produktportfolios.

Die Erfassung, Fortführung und Verwaltung dreidimensionaler Modelle ist jedoch sehr kostenintensiv, was ihre Einführung als reguläres Produkt behindert. Zwei Folgerungen ergeben sich hieraus:

Erstens die Suche nach einer möglichen Finanzierung, da angesichts der leeren öffentlichen Kassen kaum von einer generellen Übernahme der Aufgabe durch die Vermessungsbehörden ausgegangen werden kann. Fahrzeug- und Personennavigation (siehe Artikel zu Fußgängernavigation in dieser Ausgabe) haben hier gute Chancen, da sie potentiell einen sehr großen Benutzerkreis ansprechen.

Als zweite Folgerung müssen die Kosten soweit wie möglich gesenkt werden. Dies kann durch entsprechende Automatisierung erreicht werden. Hierauf soll im Folgenden eingegangen werden.

### Das Problem der Erfassung und Interpretation

Wie können dreidimensionale Stadtmodelle erfasst werden?

Hierzu lassen sich etwa Verfahren der Photogrammetrie einsetzen: Ein Flugzeug überfliegt das zu erfassende Gebiet und fotografiert die Oberfläche mittels einer Luftbildkamera. Dabei wird die Kamera so ausgelöst, dass jeder Oberflächenpunkt in mindestens zwei Bildern abgebildet ist. Werden die Koordinaten eines zu erfassenden Punkts in beiden Bildern be-

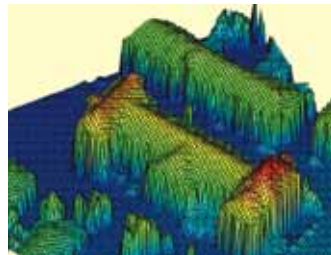
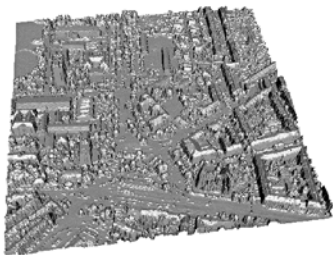
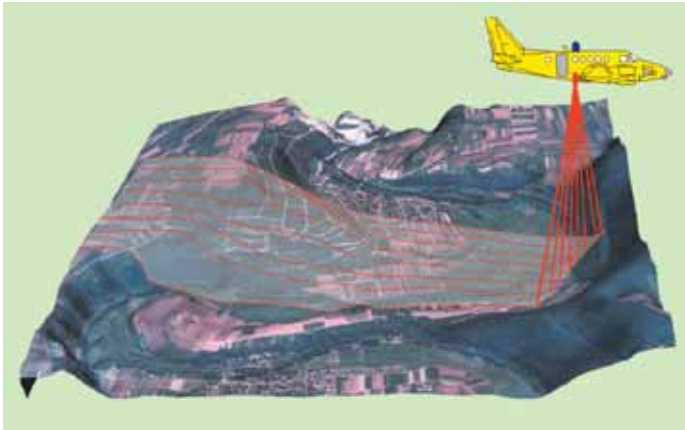
stimmt, lassen sich daraus nach dem Stereoprinzip seine dreidimensionalen Koordinaten im Raum ermitteln.

Die Schwierigkeit hierbei liegt nicht so sehr – wie man vielleicht vermuten würde – in der Lösung der geometrischen Aufgabe. Vielmehr besteht das Hauptproblem darin, das Abbild eines Oberflächenpunkts in verschiedenen Bildern durch automatische Verfahren zu identifizieren und zu messen. Dies ist ein typisches Problem des *Bildverstehens*, welches dem Menschen sehr leicht fällt, aber nur schwer automatisierbar ist.

In den 90er Jahren wurde als weiteres Verfahren das *flugzeuggetragene Laserscanning* entwickelt.

Dabei wird die dreidimensionale Form der Oberfläche direkt durch einen Laser abgetastet. Mit Hilfe einer parallel zur Laserdistanzmessung erfolgenden Erfassung der Position und Orientierung des Flugzeugs lassen sich die dreidimensionalen Punkte auf der Oberfläche direkt bestimmen (Abbildung 1). Dabei kann die Punktdichte am Boden durch Flughöhe und Parameter des Scanners gesteuert werden.

In der Regel entstehen sehr umfangreiche Datensätze – bei einer Messpunktdichte von einem Punkt pro Quadratmeter entstehen etwa hundert Millionen Punkten für Stadtgebiete (Abbildung 2).



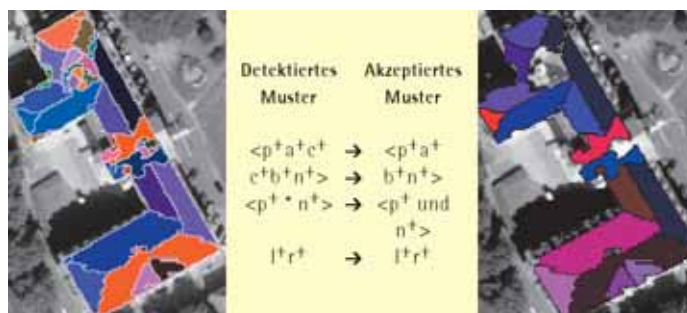
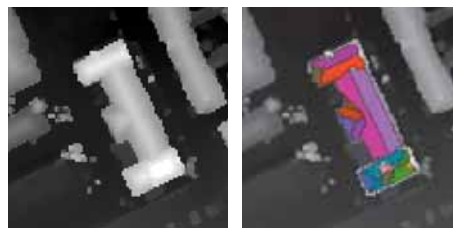
Da Laserscanning die dreidimensionale Geometrie direkt erfasst, umgeht man das Problem der Photogrammetrie, für die Geometriebestimmung eine Interpretation des Bildmaterials zu benötigen. Allerdings ist dies nur dann von Vorteil, wenn eine Interpretation tatsächlich nicht benötigt wird, beispielsweise wenn das Endprodukt eine dreiecksvermaschte Oberfläche sein soll.

Typischerweise ist im Bereich von Stadtmodellen jedoch eine Erfassung einzelner geometrischer Objekte und Objektteile erwünscht. Ziel ist es daher, Verfahren bereitzustellen, welche eine derartige objektweise Erfassung automatisieren.

Wie sich zeigt, sind die Verfahren der Photogrammetrie und des Laserscannings hierbei komplementär, so dass hoch automatisierte und genaue Ergebnisse von Verfahren zu erwarten sind, die beide Quellen kombinieren.

**Automatisierte Extraktion von Objekten**

Häufig wird bei der Extraktion von Objekten aus Daten eine hierarchische Vorgehensweise gewählt. Beispielsweise lässt sich die Oberfläche eines (Gebäude-) Objekts darstellen als eine Sammlung von Flächen, die begrenzt sind von Kanten, die wiederum begrenzt sind von ihren Anfangs- und Endpunkten. Daher kann man umgekehrt versuchen, in den Datensätzen zunächst die Primitive Punkt, Kante und Fläche automatisch zu identifizieren, um sie anschließend zur rekonstruierten Gesamtoberfläche des Objekts zu kombinieren.



Für Daten aus Laserscanning bietet sich typischerweise eine Suche nach Flächen an.

Abbildung 3 zeigt das Ergebnis eines Verfahrens, welches Punkte nach ihrer Zugehörigkeit zu ebenen Flächen in Regionen zusammenfasst.

Um hieraus eine tatsächliche Dachfläche zu rekonstruieren, müssen die nicht relevanten Regionen entfernt und die verbleibenden Regionen zu einer geschlossenen Oberfläche verschritten werden.

Zur Entfernung von überflüssigen Regionen können beispielsweise regelbasierte Verfahren eingesetzt werden.

Dabei werden in einem Satz von Regeln gängige Muster in der Aufeinanderfolge von einzelnen Dachflächen festgehalten, die dann mit der tatsächlich vorliegenden Situation verglichen werden. Passt ein Muster, werden die zugehörigen Dachflächen akzeptiert und nehmen an der nachfolgenden Verschneidung teil.

Abbildung 4 zeigt hierzu ein Beispiel.

Abbildungen 3a und 3b Links: Laserscan-Datensatz in Graucodierung (hohe Punkte sind hell dargestellt). Rechts: Ergebnis einer Segmentierung in ebene Regionen.

Abbildung 1 Prinzip des flugzeuggetragenen Laserscannings.

Abbildungen 2a und 2b Beispiele von Laserscan-Datensätzen, die mit einer Dichte von einem Punkt pro Quadratmeter abgeleitet wurden.

■ ■ ■

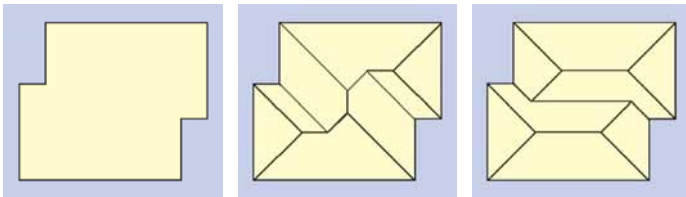
Tastet man Objekte dagegen mit einem Laser ab, so erhält man direkt dreidimensionale Messpunkte in großer Anzahl, jedoch nicht unmittelbar eine Interpretation im Sinne von Objekten und Objektstrukturen.

Wie beide Methoden kombiniert zu einem virtuellen dreidimensionalen Stadtmodell führen, erforscht eine Nachwuchsgruppe am Institut für Kartografie und Geoinformatik.

■

Abbildung 4 Alle Regionen einer Segmentierung (links), Regeln zur Akzeptanz von Regionen (Mitte) und akzeptierte Regionen (rechts).

Die Verschneidung der Flächen selbst ist nicht so trivial, wie sie auf den ersten Blick erscheint. Durch die aneinandergeliegenden segmentierten Regionen wird nämlich nur eine »ungefähre« Nachbarschaft der Flächen definiert – in den entstandenen Löchern liegt sogar keine Information vor. Es zeigt sich, dass aus einem gegebenen Satz von Dachflächen in der Regel verschiedene Dächer erzeugt werden können.



Abbildungen 5a bis 5c  
Grundriss (links), Lösung 1 (kanonische Dachform, Mitte) und Lösung 2 (rechts).

Ein einfaches Beispiel für die Mehrdeutigkeit ist in Abbildung 5 in einer Aufsicht zu sehen. Soll auf dem gegebenen Grundriss ein Dach konstruiert werden, so kommen zwei verschiedene Lösungen in Betracht, die beide von völlig

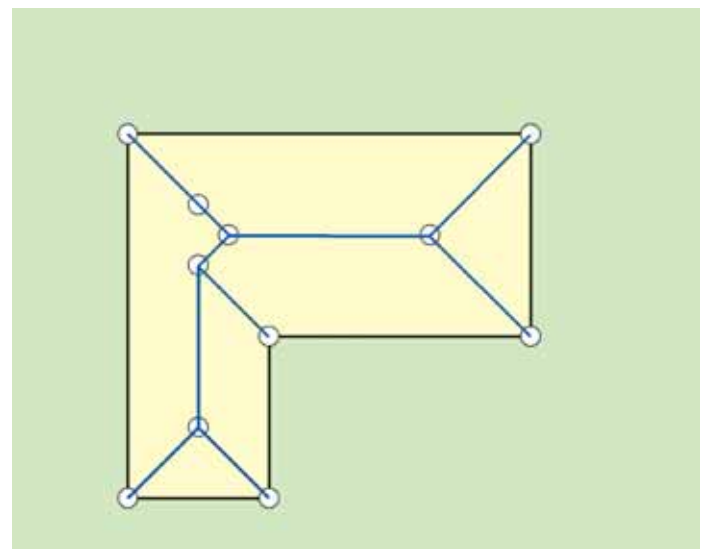
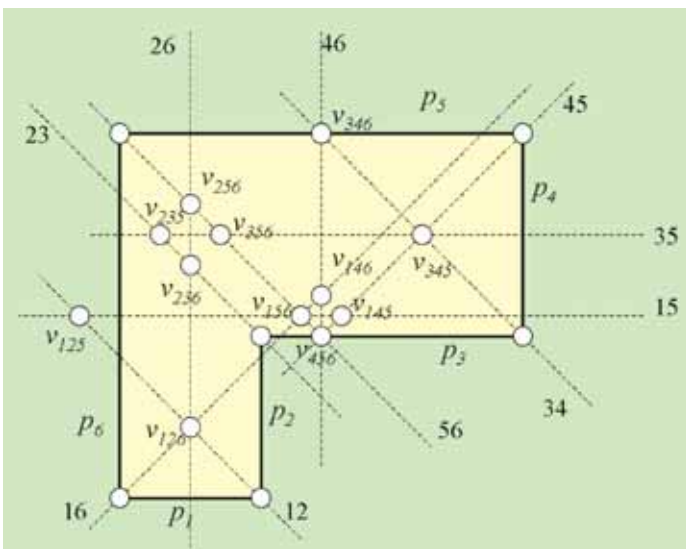
Sämtliche möglichen Dachtopologien lassen sich mittels einer Suche ermitteln (Abbildung 6). Da sich im nicht degenerierten Fall aus drei Ebenen genau ein Schnittpunkt ergibt, ergeben sich sämtliche Dachtopologien aus allen erlaubten vollständigen Verbindungen von Schnittpunkten. Eine Verbindung zweier Punkte ist formal dann erlaubt, wenn in den zugehörigen Indizes zwei identische Ziffern auftreten. Eine erschöpfende Suche über alle möglichen Dachtopologien ist von exponentieller Komplexität, kann aber in praktischen Fällen dennoch durchgeführt werden, wenn Methoden zur Reduktion des Suchraums eingesetzt werden – etwa die beschränkte Baumsuche, welche unmögliche Zweige im Suchbaum frühzeitig verwirft.

Mit welchen Ergebnissen zu rechnen ist, wenn man Laserscandaten mit dem vorgestellten und anderen Verfahren bearbeitet, wird in Abbildung 7 gezeigt.

systeme eingespeist werden, welche neben der reinen Visualisierung eine Integration mit Zusatzinformation und entsprechende Abfragemöglichkeiten bieten.

### Erfassung im Nahbereich

Mittels flugzeuggetragener Sensoren lassen sich zwar große Flächen bearbeiten, die Erfassung von Details, beispielsweise einer Fassadenstruktur, ist jedoch aufgrund von Sichtbarkeits- und Auflösungsbeschränkungen nicht möglich. Hierfür können terrestrische Laserscanner eingesetzt werden. Abbildung 8 zeigt eine Gruppe von Mitarbeitern des Instituts für Kartografie und Geoinformatik (ikg) beim Scannen des Hauptgebäudes der Universität mit einem terrestrischen Scanner. Abbildung 9 zeigt die durch einen einzigen Scan innerhalb von vier Minuten erzeugte Punktwolke mit 1,6 Millionen Punkten in verschiedenen Schnappschüssen.



Abbildungen 6a und 6b  
Links: Einfacher Grundriss mit zugehörigen Schnittpunkten von jeweils drei Flächen in Aufsicht. Rechts: Durch Auswahl von Schnittlinien und -punkten entstandene Dachtopologie.

identischen Dachebenen ausgehen. Lösung 1 ist die kanonische Dachform, die üblicherweise auch vom Zimmermann bevorzugt würde. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass ein auf einer Fläche auftreffender Wassertropfen zur zugehörigen Traufkante abfließt.

Dort wurden die erzeugten Modelle mit einem Geländemodell ergänzt sowie mit Texturen aus Luftbildern belegt. Die so entstehenden virtuellen Modelle können auch zur Erzeugung von virtuellen Flügen durch Stadtlandschaften dienen oder in Geo-Informations-

Ebenso wie im Fall flugzeuggetragener Sensoren ergibt sich die Aufgabe, Lasermessungen und Bilder zu kombinieren sowie die entstehenden Datensätze zur hochautomatisierten Ableitung von Objekten beziehungsweise Objektteilen zu verwenden.



**Dr.-Ing. Claus Brenner**

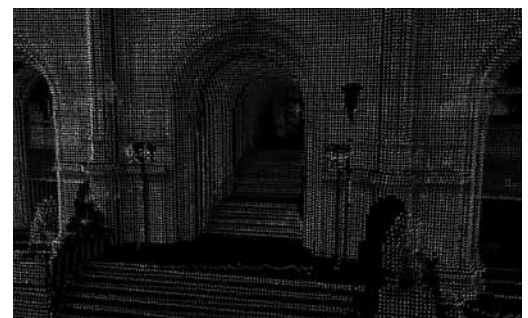
Jahrgang 1967, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Leiter einer Nachwuchsgruppe »Automatische Verfahren zur Fusion, Reduktion und konsistenten Kombination komplexer heterogener Geoinformation« am Institut für Kartografie und Geoinformatik.

Dies ist das Ziel einer am ikg angesiedelten dreiköpfigen Nachwuchsgruppe mit dem Titel »Automatische Verfahren zur Fusion, Reduktion und konsistenten Kombination komplexer heterogener Geoinformation«, welche für fünf Jahre von der Volkswagenstiftung gefördert wird.

Abbildung 7  
*Virtuelles dreidimensionales Stadtmodell von Heidelberg.*



Abbildung 8  
*Mitarbeiter des ikg bei der Erfassung der Fassade des Hauptgebäudes der Universität mittels eines terrestrischen Laserscanners.*



Abbildungen 9a bis 9d  
*Schnappschüsse einer dreidimensionalen Punktwolke des Hauptgebäudes der Universität.*