

Ableitung von Stadtmodellen aus Laser-Scanner-Daten, Grundrissplänen und photographischen Aufnahmen

Josef Jansa, Heinz Stanek, Wien

Kurzfassung

Die Ableitung von Stadtmodellen gewinnt derzeit stark an Bedeutung. Es ist daher naheliegend, dass man Verfahren entwickelt, die eine wirtschaftliche Auswertung ermöglichen. Rein photogrammetrische Methoden erwiesen sich als zu wenig automatisierbar. Durch die Laser-Scanner-Technologie kann man aber jetzt einen hohen Automationsgrad erreichen, wobei auch hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit möglich sind. Vorgestellt werden im wesentlichen zwei Verfahren, die einerseits auf der Kombination von Grundriss und Laser-Scanner-Daten, andererseits auf der Kombination von Laser-Scanner-Daten und photogrammetrischen Aufnahmen fußen. Beide beschriebenen Verfahren wurden in Wien entwickelt, eines im Rahmen des Kompetenzzentrum „Advanced Computer Vision“, das andere am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien. Abschließend werden einige wichtige Punkte aus Sicht der Praxis aufgezeigt.

Summary

The generation of city models is gaining increasing importance. Therefore, a series of approaches have been developed or are currently under development, which take into consideration economic aspects. Pure photogrammetric approaches need much interaction, but Laser Scanning now offers a higher degree of automation without forgetting reliability and accuracy issues. Two approaches are presented, one based on the combination of ground plans and Laser scans, the other based on the combination of Laser scans and photogrammetric images. Both described methods have been developed in Vienna - the first within the Competence Centre "Advanced Computer Vision", the second at the Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology. Eventually, important issues regarding practical applications are discussed.

1. Vorbemerkung

Die geometrische Modellierung des städtischen oder allgemeiner gesprochen des besiedelten Raumes ist heute für viele Anwendungsbereiche erforderlich. Wenn im folgenden von einem „Stadtmodell“ gesprochen wird, so ist darunter das Modell der Gebäude eines besiedelten Gebietes zu verstehen. Zur Stadtlandschaft gehören neben den Gebäuden auch die Verkehrswege, diverse Infrastruktureinrichtungen und selbstverständlich auch Vegetation. Hier sollen jedoch die Erfassung und Modellierung der Gebäude im Zentrum der Betrachtungen stehen.

Shiode [19] unterscheidet folgende vier Anwendungsbereiche:

- Planning and Design
- Infrastructures and Facility Services
- Commercial Sector and Marketing
- Promotion and Learning

Typische Aufgabenstellungen, bei denen ein 3D-Stadtmodell sinnvoll ist, wären z.B. die Beurteilung von Veränderungen, Aufbau eines Breitbandfunk-

netzes, Modellierung und Vorhersage von Naturereignissen, Optimierung von Rettungseinsätzen, Visualisierung für touristische Zwecke etwa für virtuelle Besichtigungstouren. Eine technische Anwendung ist die Erstellung von „True Orthophotos“ (d.h. Orthophotos, in denen die Gebäude lage-richtig abgebildet werden, siehe z.B. [1]).

Heute ist ein steigender Bedarf für die genaue Erfassung des besiedelten Raumes gegeben, doch sind derzeit kaum geeignete Methoden vorhanden. Auch sind existierende GIS-Grundlagen im allgemeinen nicht geeignet, daraus schnell Stadt- bzw. Siedlungsmodelle zu erzeugen. Die Bedeutung der Erstellung von Stadtmodellen wächst daher nicht nur für die Praxis, sondern auch für die Forschung. Die Aufgabe letzterer ist es, geeignete Erfassungsmethoden und Modellierungsverfahren auszu-arbeiten, wobei ein Schwerpunkt auf Automatisierung, Zuverlässigkeit und qualitative Bewertbarkeit gelegt werden muss.

2. Datenerfassung und Modellierung

2.1. Allgemeines

Wenn man von Automatisierung spricht, so denkt man zu allererst an Schnelligkeit und autonomen Ablauf der Prozesse. In der Vermessungstechnik sind diese beiden Punkte aber bedeutungslos, wenn nicht Genauigkeit, Richtigkeit und Vollständigkeit bewertet werden kann. Auf dem Gebiet der Computer Vision hat man Algorithmen, mit welchen man schnell – oft in Echtzeit – zu Ergebnissen kommt. Auf der Strecke bleiben dadurch meist zuverlässige Angaben über die Genauigkeit der Ergebnisse, da man zum Zweck der Zeiterparnis möglichst ohne Überbestimmung und Fehleranalyse arbeiten muss. In der Photogrammetrie ist man bemüht, mit Hilfe der Überbestimmung Fehler aufzudecken und Genauigkeitsmaße abzuleiten. Qualitativ schwer zu bewerten, ist die Vollständigkeit. Man muß sich hier auf die visuelle Beurteilung eines Operateurs verlassen, der entweder das gesamte Interessensgebiet oder stichprobenartig die automatisiert erstellte Auswertung überprüft.

Der Grad der möglichen Automatisierung hängt von mehreren Parametern ab:

- vom gewünschten Detaillierungsgrad bzw. vom Maßstab. (Welche Details sollen im Modell vorhanden sein? Wie genau ist die Hausform auszuwerten? Bis in welches Detail soll die Dachform rekonstruiert werden? Sollen Gauben oder Kamine ebenfalls modelliert werden? Werden Fassadendetails gefordert oder genügt eine repräsentative glatte Wand?)
- vom verfügbaren Material. (Sind Grundrisspläne vorhanden? Ist ein GIS mit entsprechenden Daten für die Gebäudemodellierung verfügbar? Soll man nur Luftbilder verwenden oder nur Laser-Scanner-Aufnahmen? Kann man eine Kombination verschiedener Datensätze verwenden?)
- vom verwendeten Ansatz. (Genügt es die Gebäudegrundrisse aus einem Plan auf eine mittlere Höhe „hochzuziehen“? Muss eine Luftbildstereoauswertung erfolgen? Kann das Oberflächenmodell einer Laser-Scanner-Auswertung analysiert werden? Können Fusion-Ansätze zur Anwendung gelangen?)

In der Praxis stellt sich heute heraus, dass vollautomatische Ansätze zur Ableitung von Stadtmodellen nicht reif für den Einsatz sind. Es wird sehr viel Forschung betrieben, aber praxismgerechte Lösungen sind nicht wirklich vorhanden [2]. Der Grund liegt zu einem großen Teil in der geringen Zuverlässigkeit der Ergebnisse, sobald ein einigermaßen hoher Detaillierungsgrad gefordert wird. Um

gute Produkte anbieten zu können, bedarf es einer manuellen Nachbearbeitung, was den Vorteil der Automation mehr als zu Gänze verschlingen würde.

Praxisgerecht sind heute nur die halbautomatischen Verfahren, wo sich nach viel Forschungstätigkeit die ersten Einsätze in der Praxis bewähren. Der kritische Auswerteschritt der Objektinterpretation erfolgt durch den Operateur, die zeitaufwendige Messung bzw. Aufbereitung der Messdaten erfolgt automatisch, schnell, genau und verlässlich. Die folgenden Systeme sind typische Beispiele: CyberCity Modeler (CyberCity AG, [4]), inJECT (Inpho GmbH, [10]).

Als wichtiger Punkt soll hier noch die automatische Unterstützung bei der Aktualisierung (*Updating*) der Datensätze angesprochen werden. Die Nachführung wird umso häufiger notwendig, je detaillierter die Ersterfassung erfolgte, da dann die Wahrscheinlichkeit einer Änderung sehr hoch ist. Viele Details bedeuten aber wiederum eine komplexere Aufgabenstellung. Mit den Problemen der automatisierten Nachführung hat man sich bis jetzt kaum befasst, da die Konzentration auf die Ersterfassung gelegt war.

2.2. Auswerteverfahren

In diesem Artikel wird, wie schon früher angedeutet, nur die Auswertung von Gebäuden näher beleuchtet. Die Auswertung von Vegetation und Infrastruktur ist allgemein etwas vernachlässigt, vielleicht auch deshalb, weil die Luftaufnahmen oft nur sehr unzureichend geeignet sind und hier auch noch einiger Forschungsaufwand notwendig ist.

Heute kommen für die Gebäudeauswertung im wesentlichen folgende Ansätze zur Anwendung:

- Analyse von GIS-Daten eines Stadtinformationssystems. Die GIS-Daten müssen die entsprechenden Daten enthalten, mit denen eine 3D-Rekonstruktion der Form des Gebäudes möglich ist. Solche Datensätze sind in der Praxis kaum vorhanden oder sie bedürfen noch einiger Zusatzerfassungen. [5]
- Verknüpfung von GIS-Daten und Laser-Scanner-Daten. Dieser Ansatz ist sehr verbreitet, wobei aus den GIS-Daten meistens nur der Grundriss eines Gebäudes Verwendung findet. In den letzten Jahren haben sich an vielen Universitäten Forschergruppen damit befasst, von denen hier nur einige erwähnt werden sollen: Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart [3], Institut für Photogrammetrie der Universität Bonn [7], Technische Universität Delft [12]. Auch am K-Plus Kompetenzzentrum „Advanced Computer Vision“ (ACV, <http://www.acv.ac.at>) in Wien wurde dieser Ansatz gewählt, der später noch detaillierter erklärt werden soll.

- Photogrammetrische Auswertung von Stereo- oder Multibildern. Durch photogrammetrische Auswertung, vorteilhafterweise von Luftbildern mit 60%- bis 80%-iger Längs- und 60%- bis 80%-iger Querüberdeckung kann eine ziemlich vollständige Erfassung der Stadtlandschaft erfolgen. Der Automatisierungsgrad kann hoch sein, wenn die Aufnahme mit einer 3-Zeilenkamera (z.B. HRSC-A oder Leica ADS40) erfolgt und wenn man sich auf ein Raster-Oberflächenmodell beschränkt, wie ISTAR (<http://www.istar.fr>) zeigt. Mit halbautomatischen Verfahren kann man auch ein strukturiertes Stadtmodell erhalten. Ansätze dieser Art verwendet der CyberCity Modeller [8], inJECT [9] oder das am I.P.F. entwickelte Programm, welches auf der I.P.F.-Software ORPHEUS basiert [15]
- Verbindung von Laser Scanning und Photogrammetrie. Um den Automatisierungsgrad zu erhöhen und dennoch eine hohe Detailgenauigkeit zu erreichen, kann man die Laser-Scan-Analyse mit der photogrammetrischen Auswertung verknüpfen. Das grobe geometrische Modell erhält man sehr rasch über die Laser-Scan-Analyse. Wegen der relativ schlechten geometrischen Auflösung in XY, können Objektstrukturen nur grob erkannt werden, kleinere Details gehen gänzlich verloren. Hat man die groben Strukturen kann der Übergang zu der hochauflösenden Bildinformation erfolgen, in welcher sogar kleine Details erkannt werden können. Die Laser-Scan-Analyse liefert erste Näherungswerte, die Bildanalyse liefert die Genauigkeit. Dieser Ansatz, den Rottensteiner [16] wählte, wird später noch etwas detaillierter besprochen.
- Das Objekt muss erkannt und verstanden werden.
- Danach folgt eine Generalisierung und ein Abstrahieren und
- schließlich das Messen, welches
- die semantische Zuordnung und die Erfassung der korrekten Geometrie und Topologie beinhaltet.
- Sinnvoll ist auch eine objektorientierte Organisation in echter 3D Repräsentation.

Bevor auf zwei Verfahren beispielhaft näher eingegangen wird, sollte man noch ein paar oft, aber teilweise mit unterschiedlicher Bedeutung verwendete Akronyme erklären.

Das DTM (Digital Terrain Model) beschreibt die natürliche, nackte Geländeoberfläche. Es sollte also weder Bauten noch Vegetation enthalten. Anstelle von DTM ist im deutschsprachigen Raum oft auch DHM (Digitales Höhenmodell) gebräuchlich. Das DSM wird mit Digital Surface Model übersetzt. Als Synonym liest man gelegentlich auch DCM (Digital Canopy Model) oder im Deutschen DOM (Digitales Oberflächenmodell). Es handelt sich dabei um eine Oberflächenbeschreibung der höchstgelegenen Punkte, also des Geländes, der darauf wachsenden Vegetation und der Kunstbauten, so als ob die Natur mit einem Tuch abgedeckt worden wäre. In der Folge wird auch die Abkürzung nDSM verwendet werden. Es bedeutet „normalised DSM“. So bezeichnet wird die Beschreibung des um die nackte Geländeoberfläche reduzierten DSM.

3. Laser Scans und Grundriss

3.1. Prinzip des „ACV“-Verfahrens

Stellvertretend für in Reihe unterschiedlicher Ansätze, soll hier das Verfahren beschrieben werden, welches im Rahmen des Kompetenzzentrums ACV entwickelt worden war. Die Aufgabenstellung war durch die Wiener Firma Vermessung Dipl.Ing. Schmid gegeben worden. Wissenschaftlich erfolgte die Betreuung durch das Institut für Geometrie und das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien [14], [13].

Aufgabe dieses Verfahrens ist die hochautomatisierte Extraktion der Dachgrobstruktur und die Bildung von 3D-CAD-Gebäudemodellen, schließlich die Visualisierung als VRML-Modelle bezogen auf Baublöcke, wobei auch gleichzeitig eine visuelle Beurteilung der extrahierten Dachlandschaft erfolgen soll.

Die Laser-Scanner-Aufnahme liefert eine Punktwolke für das DSM mit einer guten Höhenabbil-

2.3. Die Modellerzeugung

Die Modellerzeugung könnte man auch als Aufgabe des „Reverse Engineering’s“ bezeichnen. Aus einer Abbildung der Wirklichkeit wird versucht, den „Bauplan“ (=Modell), welcher dem Baumeister zur Verfügung gestanden ist, zu rekonstruieren. Gegeben ist eine mehr oder weniger vollständige Abbildung der Wirklichkeit, z.B. in Form von photographischen Aufnahmen oder Laser Scans. Gesucht wird ein möglichst genaues und vor allem auch ein möglichst vollständiges Modell. Die Qualität des Ergebnisses ist abhängig von den Ausgangsdaten und natürlich von dem Auswerteverfahren und den zugrunde gelegten Hypothesen.

Ein geeignetes Auswerteverfahren liefert eine formalisierte Beschreibung der Wirklichkeit ausgewählter Objekte anhand der erfassten Daten. Grundsätzlich kann man eine Auswertung in mehrere Schritte unterteilen:

dung, aber einer relativ schlechten Grundrissabbildung. Mit Hilfe des Grundrissplans wiederum erhält man die Lage des auszuwertenden Gebäudes und den Gebäudeumriss.

3.2. Arbeitsablauf

Die Vorgangsweise wird im folgenden kurz beschrieben:

- Auswählen jener gemessenen Laserpunkte, die innerhalb des Grundrissbereichs eines Gebäudes fallen (Abb. 1) und
- Analyse dieser Laserpunkte zur Bestimmung der einzelnen (ebenen) Dachflächen (Abb. 2 und Abb. 3)
- Ableitung der gesamten Dachform (Verschnitte und Sprünge) und Einfügen von vertikalen Wänden entlang des Gebäudeumrisses (Abb. 4)
- Fertigstellen des Gebäudemodelles zu einem CAD-Modell und Start der nächsten Gebäudeauswertung (Abb. 5)
- Zusammenhängen der Einzel-CAD-Modelle zu einem Gebäudeblock oder einer Stadtlandschaft (Abb. 6)

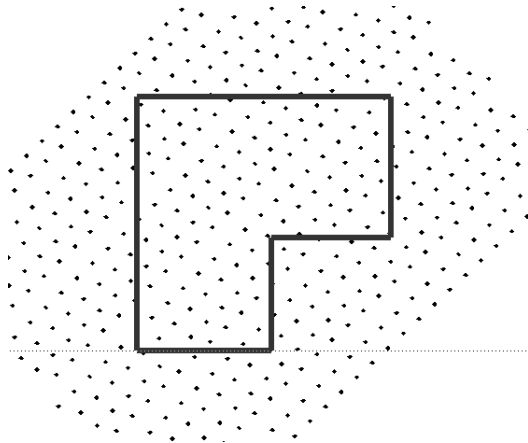


Abb. 1: Laser-Punkte und Gebäudegrundriss

Die Verwendung des Grundrissplanes setzt voraus, dass der Datenbestand aktuell und fehlerfrei ist. Diese Voraussetzung ist zweifellos nicht immer gegeben und daher könnte es bei der Auswertung zu Problemen kommen.

Die Aufgabenstellung fußt auf der Hypothese, dass das Gebäude durch vertikale Wände begrenzt wird, die im Grundriss projizierend erscheinen, und dass die Gebäudedächer aus ebenen Elementen zusammengesetzt sind, die im allgemeinen flacher als 45° sind.

Der Ansatz verwendet eine stückweise Rekonstruktion ebener Objekte aus der Laser-Punktwolke über dem Grundrissbereich. Die Gleichung für eine Ebene ε_i über der Grundrissebene wird analytisch angesetzt durch:

$$\varepsilon_i : z = a_i x + b_i y + c_i$$

Eine jede Ebene ε_i ist durch ein eindeutiges Tripel der drei Parameter a_i , b_i und c_i bestimmt.

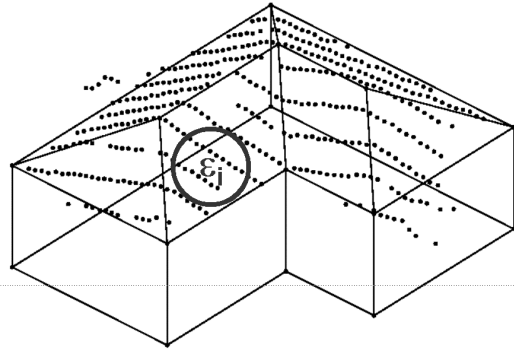


Abb. 2: Analyse der Laser-Punkte

Die Punktwolke wird in kleinen Umgebungen (siehe Kreis in Abb. 2) schrittweise abgetastet und innerhalb jeder Umgebung wird anhand der dort gefundenen Laserpunkte eine ausgleichende Ebene gerechnet, was ein ganz bestimmtes Tripel (a_i , b_i , c_i) ergibt. Während der Ebenenbestimmung wird gleichzeitig eine Qualitätskontrolle durchgeführt, indem bewertet wird, wie gut die Laserpunkte die Ebenengleichung erfüllen. Laserpunkte, die nicht passen (Punkte auf Schornsteinen, überhängenden Bäumen, Seitenwänden etc.), werden eliminiert. Die ermittelten drei Ebenenparameter werden als Koordinaten eines 3-dimensionalen Parameterraumes angesehen, wo somit jede Ebene durch einen Punkt repräsentiert wird (Abb. 3). Eine Anhäufung von Punkten bedeutet, dass viele kleine Ebenen mit ähnlicher räumlicher Lage gefunden wurden, die daher wahrscheinlich zu einer großen Dachfläche zusammengehören. Der Mittelwert eines solchen Punkt-Clusters (z.B. Kreis in Abb. 3), definiert die Parameter einer Dachfläche und damit ihre geometrische Lage. Punkte, die kein Cluster bilden, bleiben unberücksichtigt. Sie stammen von Ebenenstücken, die offenbar keiner Dachfläche angehören, sondern von Kleindetails (wie zuvor angeführt) und werden daher berechtigterweise ausgeschieden.

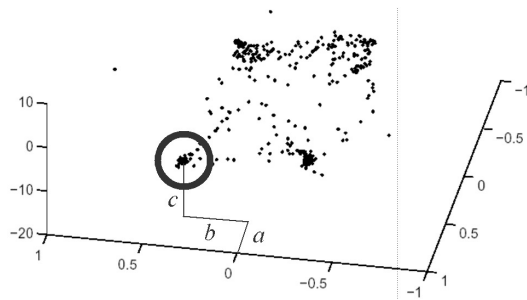


Abb. 3: Parameterraum zum Auffinden der Dachflächen

Verschneidungen und Vertikalsprünge werden durch Nachbarschaftsanalyse der erhaltenen ebenen Dachelementen abgeschätzt. An den Grundrisslinien und an Höhengsprüngen des Daches innerhalb des Grundrisses werden senkrechte Wände eingefügt. Erstere werden mit dem DTM (Digital Terrain Model) als untere Begrenzung verschnitten. Gemeinsam mit den Dachebenen bilden sie dann vollständige Gebäudemodelle. Die modellierten, topologisch geschlossenen Ebenen werden durch Kanten wie zum Beispiel First, Traufe, Ortgang, Grat, Kehle und Höhengsprünge begrenzt. Nicht automatisch modellierbare Bereiche und sehr kleine Bereiche mit wenigen Punkten werden im CAD-Modell durch eine horizontale Ebene in der mittleren Höhe der Laserpunkte approximiert. (Abb. 4).

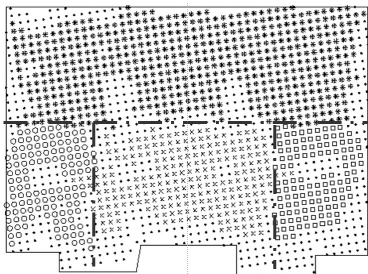


Abb. 4: Dachflächenanalyse (Verschneidungen, Sprünge)

Die Rekonstruktionseinheit ist das Einzelgebäude (Abb. 5), welches auch als VRML-Modell dargestellt werden kann und damit eine gute optische Kontrollmöglichkeit bietet. Im Zuge dieser Kontrolle des CAD-Modells werden wenig plausible vertikale Versetzungen an den Verschneidungslinien und andere Modellierungsfehler manuell behoben.

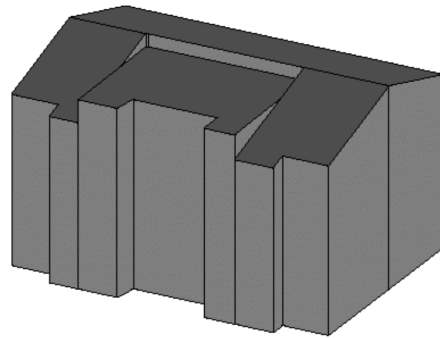


Abb. 5: CAD-Modell eines Einzelgebäudes

Ganze Gebäudeblöcke bzw. die ganze Stadt entsteht durch Aneinanderreihen von Einzelauswertungen. Das Ergebnis sind CAD-Modelle der Häuser einer Stadt (Abb. 6).

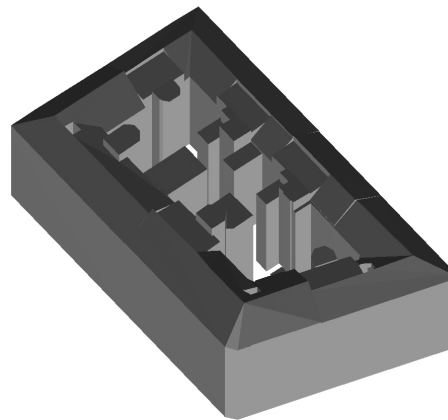


Abb. 6: Kombination zu einem Gebäudeblock

3.3. Praxis-Anforderungen

An die abgeleiteten Gebäudemodelle wurden folgende Anforderungen gestellt:

- *Objektbasierte Modellierung* aus Basisdaten unter Einbeziehung der Geometrie und sonstiger verfügbarer Attribute.
- *Nutzung und Adaptierung von Standardmethoden*, sowie Flexibilität der Modellierung bezüglich Detaillierungsgrad und Zonierung. Für die Wirtschaftlichkeit von Gebäudemodellierungen ist es entscheidend, den erwarteten Detaillierungsgrad der Modelle von der Befliegung bis hin zum extrahierten Gebäudemodell zu berücksichtigen.
- *Hoher Automatisierungsgrad*. Dieser stützt sich auf den reibungsfreien Datenfluss von der Datenerfassung bis zum fertigen CAD-Modell. Die Bestimmung und Verarbeitung von struktu-

rierten Qualitätsparametern ist einerseits für die effiziente Verarbeitung und andererseits für die Beschreibung der Datenbestände als Meta-information relevant.

- *Die einfache und effiziente Handhabbarkeit der Gebäudemodelle* für 3D-Visualisierungen hinsichtlich Performance und Distribution wird bereits bei der Aufbereitung der Gebäudemodelle berücksichtigt.

3.4. Qualität der Modellierung

Je mehr Laserscanpunkte eine Dachfläche beschreiben, desto höher ist die Genauigkeit, mit der sie modelliert werden kann. Die modellierten Dachflächen haben durchwegs eine sehr hohe Genauigkeit. Diese ist je Gebäude und je modellierte Dachfläche durch statistisch abgeleitete Qualitätsinformationen dokumentiert.

Für unterschiedliche Ausgangsdaten (Auflösung, Genauigkeit etc.) und Gebäudetypen (Größe der im Projektgebiet vorkommenden Dachflächen etc.) können die Parameter für die Segmentierung der Laserscanpunkte, die als Dachebenenpunkte klassifiziert werden, angepasst werden. Die Dachflächenelemente stehen als separierte Objekte zur Verfügung, die mit sachbezogenen Parametern verknüpft werden können. Im Zuge der Dachflächenrekonstruktion fallen ausführliche Qualitätsparameter an. Für jede Dachfläche wird die Anzahl der Punkte vor und nach der Segmentierung und weitere Qualitätsparameter, wie etwa die mittlere (quadratische) Höhendifferenz ausgewiesen.

3.5. Diskussion

Bei der Entwicklung des vorgestellten Verfahrens stand die Anwendung für Städte mit großen Gebäuden respektive großen Dachflächen im Vordergrund. Die Auflösung der verwendeten 3D-Punktwolke beträgt in diesem Fall 0.5 m. Dieser Detaillierungsgrad ist zur effizienten Erstellung von 3D-Stadtmodellen sehr gut geeignet. Ein höherer Detaillierungsgrad ist mit dieser Methode nur mit zusätzlichen Investitionen in Daten mit höherer Auflösung möglich. Eine Kombination mit anderen Daten, wie zum Beispiel Luftbildern unterstützt detailliertere Ergebnisse, wie später noch ausgeführt werden wird.

Optional kann auch bei dieser Methode auf die Verfügbarkeit von Grundrissen verzichtet werden, wobei gekuppelte Gebäudeverbände mit homogener Dachstruktur nicht mehr separiert werden können.

Bei kleinen bzw. architektonisch stark strukturierten Dachformen sollte die Laserscanner-Befliegung mit einer Auflösung von unter 0.5 Meter durchgeführt werden. Auf diese Weise können

feinere Dachformen und Details der Dachlandschaft noch besser differenziert werden.

Durch Kombination mit modellierten Gebäuden und dem flächendeckenden DTM können geplante Objekte und Maßnahmen als 3D-Visualisierung mit vollständigem Raumbezug anschaulich dargestellt werden. Diese Präsentationsformen werden immer häufiger als für jedermann verständliche Basis für Projektvisualisierungen herangezogen.

Die Modellierung von Gebäuden und Landschaftselementen aus 3D-Laserscannerdaten stellt eine effiziente und genaue Methode zur Erstellung von CAD-Modellen von 3D-Dachstrukturen mit Objektsbezug dar. Durch Vergleich der Modelle unterschiedlicher Epochen werden Veränderungen im Bestand effektiv erfasst, analysiert und präsentiert. In dieser Form können etwa die Erfüllung baurechtlicher Bestimmungen an Hand von extrahierten Gebäudemodellen großflächig allgemein verständlich dokumentiert werden.

Derzeit ist bereits ein weites Anwendungsspektrum von universellen 3D-Höhenmodellen, sowie deren Folgeprodukte mit ausgeprägten wirtschaftlichen, juristischen, kulturellen und weiteren Schwerpunktsetzungen erkennbar. Dabei werden räumliche Zusammenhänge einer breiten Öffentlichkeit in allgemein verständlicher und begreifbarer Form vermittelt. Als Ergebnis können durch Einsatz der beschriebenen Verfahren räumlich basierte Entscheidungen rascher, sicherer und zielorientierter getroffen werden.

4. Laser Scans und Luftbild

Der Ansatz mit den Laser-Scanner-Daten und Luftbildern soll einerseits den Automationsgrad der Auswertung erhöhen und andererseits das in den hochauflösenden Bildern enthaltene Detaillierungs- und Genauigkeitspotential ausnützen. Das am I.P.F. von Rottensteiner [15] entworfene rein photogrammetrische Verfahren bedarf starker interaktiver Eingriffe und ist für die Erstellung großräumiger Modelle aus wirtschaftlicher Sicht nicht optimal, obwohl es sich bei Pilotprojekten durchaus bewährt hat [18]. Es war daher naheliegend, Luftbild und Laser-Scanner-Daten gemeinsam zu nutzen (siehe auch z.B. [20]). Am I.P.F. befindet sich ein neue, erweiterte Methode noch im Stadium der Forschung [16]. Sie wird daher in der Folge nur von der Idee her besprochen.

Ausgangsdaten sind Laser-Scanner-Daten und möglichst zum gleichen Zeitpunkt geflogene Luftbilder oder Bildscannerdaten. Die Auswertung teilt sich in zwei Abschnitte:

- Erstellung eines DSMs im Rasterformat aus den originalen Laserscannern der Aufnahme

- Bestimmung des nDSM, beginnend mit der Bestimmung des DTMs aus dem DSM (=Laserpunkte) mit Hilfe geeigneter Filterverfahren [17]
- Analyse des nDSM (um Gebäuderegionen zu detektieren) und des DSMs (um Dachflächen zu detektieren) mit Verfahren, die aus der digitalen Bildverarbeitung bekannt sind.
- Aufstellen eines ersten genäherten Stadtmodelles des Interessensgebietes
- Verknüpfung mit dem Bildmaterial, um genaue Dachflächen- und Gebäudebegrenzungen zu erhalten. Auch Flächenelemente, die wegen zu niedriger geometrischer Auflösung der Laser-Scanner-Daten nicht gefunden werden, können durch die Analyse der Luftbilder ergänzt werden.

Ein Ablaufdiagramm ist in Abb. 7 zu sehen.

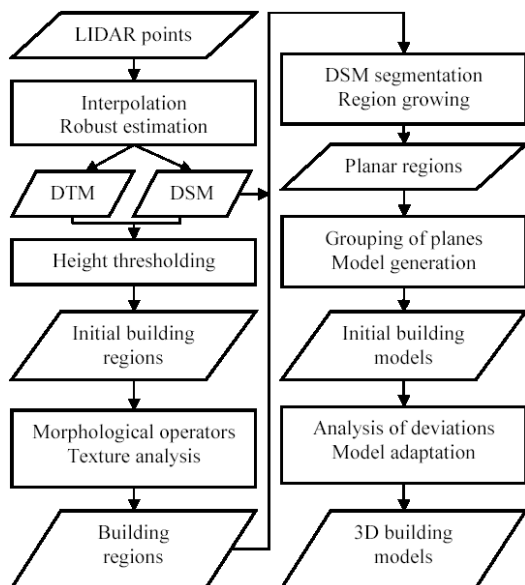


Abb. 7: Ablaufdiagramm [17]

Das Verfahren hält sich an die aufgenommenen Daten und nicht notwendigerweise an vorhandene Pläne. Es wird daher der tatsächliche Naturstand zum Zeitpunkt der Aufnahme ausgewertet. Falsche oder nicht aktuelle Darstellungen in Plänen spielen keine Rolle, allerdings sind deshalb auch rechtlich relevante Begrenzungen nicht erkennbar. Die Auswerteeinheit ist nicht das Einzelgebäude, sondern der gesamte Interessensbereich, zum Beispiel ein Stadtbezirk oder mehrere Häuserblöcke.

Das in Abb. 8 dargestellte Laser-Scanner-Bild (Raster-DSM) eines Stadtgebietes diente als Beispiel für ein Pilotprojekt. Nach einer Vorverarbeitung mit Filterung und Schrankensetzung erhält man die Maske mit den potentiellen Ge-

bäudeflächen. Weitere Analyseverfahren, welche die Textur untersuchen, erlauben schließlich das Entfernen von Vegetationsflächen, sodass die Gebäudemasken übrigbleibt.

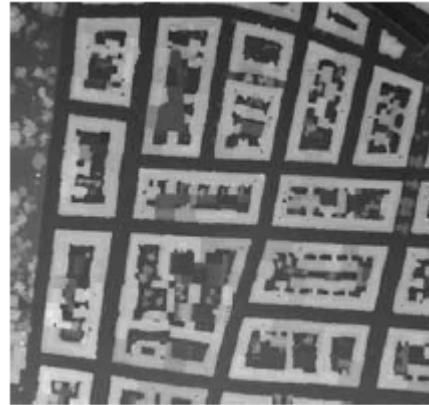


Abb. 8: DSM eines Stadtgebietes

Das DSM wird in der Folge innerhalb der Gebäudemasken näher untersucht. Abb. 9 zeigt die erkannten Dachflächen eines Häuserblocks (jede Fläche ist mit einem einheitlichen Grauton kodiert), welche durch eine Folge von Bildverarbeitungsoperationen im DSM-Bild ermittelt werden können.

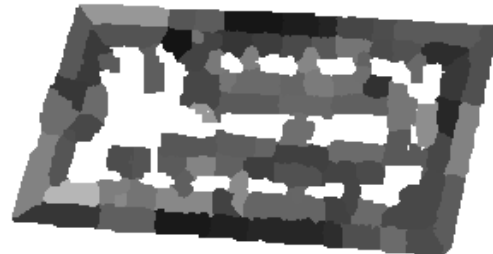


Abb. 9: Aus DSM ermittelte Dachflächen eines Gebäudeblockes

In Abb. 10 wurden die aus dem DSM ermittelten Dachflächen dem vorhandenen Luftbild überlagert. Die Differenzen lassen erkennen, dass das Luftbild noch ein weiteres Genauigkeits- und Vollständigkeitspotential bietet. Aus den so erhaltenen Näherungswerten kann man die Bildanalyse starten und die Dachflächen verbessern bzw. ergänzen.

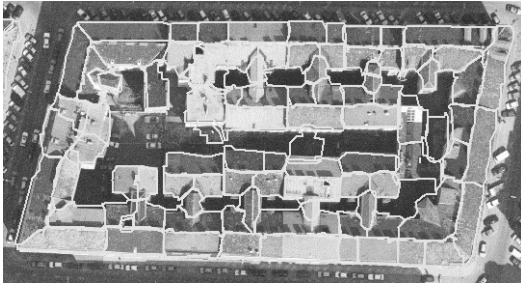


Abb. 10: DSM-Dachflächen dem Luftbild überlagert

Schließlich erhält man das detaillierte Gebäudeblock-Modell. Abb. 11 zeigt die VRML-Darstellung des im Abb. 8 dargestellten Gebietes, das in einem Durchgang bearbeitet worden war, allerdings noch ohne die Verfeinerung durch die Photoauswertung.



Abb. 11: VRML-Modell eines Stadtteiles

5. Terrestrische Laser Scans und Photos

Die Auswertung aus Luftaufnahmen mit Kamera oder Laser Scanner kann nur die Dachlandschaft liefern und ist kaum geeignet die Fassaden auszuwerten. Benötigt man ein großmaßstäbiges Stadtmodell, bei welchem auch Fassadendetails und Fassadentextur erforderlich ist, muß man terrestrische Kameras und terrestrische Laser Scanner einsetzen. Als Beispiel für solche mobile auf Fahrzeugen montierte Systeme, die zumindest die Straßenfronten der Gebäude aufnehmen, soll der City Scanner der Fa. No Limits erwähnt werden [6].

Der City Scanner besteht aus einem Riegler Laser Scanner (derzeit Modell LMS-Z360) und zwei digitalen Kameras. Er arbeitet in verschiedenen Aufnahme-Modi: der Continuous Modus und der

Stop-and-Go Modus. Im ersteren fährt das Aufnahmesystem mit zwar geringer aber kontinuierlicher Geschwindigkeit durch die Straßen, wobei die Kameras mit hoher Überdeckung die Fassaden aufnehmen (vergleichbar einem horizontalen Bildflug). Am Anfang und Ende einer Fassaden-einheit wird die Bildfolge in eine Laser-Scanner-Wolke eingehängt. Im Stop-and-Go Modus fährt das Fahrzeug von einem Standpunkt zum nächsten und nimmt dort eine Rund-um-Punktwolke auf. Der Abstand zwischen den Standpunkten richtet sich nach der Überdeckung aufeinanderfolgender Punktwolken, welche etwa 50% sein soll. Die Auswertung erfolgt hoch automatisiert und liefert im ersten Fall schnell und kostengünstig einen guten Eindruck von der Fassadenlandschaft. Die Auswertung im zweiten Fall ist aufwendiger, liefert aber viele Details der gesamten Straßenlandschaft.

6. Stand der Technik und Ausblick

Heute sind halbautomatische Verfahren bereits im Einsatz. Entsprechende Software-Pakete werden auch als kommerzielle Produkte angeboten. Allerdings soll man nicht vergessen, dass bei komplexer Siedlungsstruktur sehr viel manueller Aufwand notwendig ist. Bei Nutzung eines Grundrissplanes ist die Automatisierung weit fortgeschritten, sofern man es mit einfachen Siedlungsstrukturen (Einzelbauten, wenig Vegetation, einfache Dachlandschaft) zu tun hat. Bei fehlerhaftem oder nicht aktuellem Grundriss sind Probleme unvermeidlich.

Durch die gleichzeitige Verwendung mehrerer Datenquellen kann man den Automationsgrad und damit die Wirtschaftlichkeit erhöhen. Diese Ansätze werden oft auch Fusion-Methoden genannt. Es ist dabei sinnvoll auch geometrische Bedingungen im Auswertungsansatz zu berücksichtigen. Dies erlaubt nicht nur bessere Zuverlässigkeit, sondern auch eine gute qualitative Beurteilung mit Hilfe abgeleiteter Fehlermaße. Besonders vielversprechend scheint die gemeinsame Nutzung von Laser-Scanner-Daten, Luftbildern und Grundrissdaten zu sein.

7. Literatur

- [1] Amhar F., Jansa J., Ries Ch. (1998): The generation of true orthophotos using a 3D building model in conjunction with a conventional DTM. Internat. Archives of Ph & RS, Vol.32 / 4, Stuttgart, S16-22.
- [2] Brenner C. (2001): City Models – Automation in Research and Practice. Photogrammetric Week, Wichmann Verlag, S149-158.
- [3] Brenner C., Haala N. (1999): Rapid Production of Virtual Reality City Models. GIS, S22-28.

- [4] CyberCity AG (2003): www.cybercity.tv
- [5] Dorffner L., Zöchling A. (2003): Das 3D Modell von Wien – Erzeugung und Fortführung auf Basis der Wiener Mehrzweckkarte. Proceedings CORP 2003, Wien, S161-166.
- [6] Forkert G., Holzer J. (2003): Das digitale Stadtmodell als Dokument des urbanen Raumes. Proceedings CORP, Wien, S167-170.
- [7] Förstner W. (1999): 3D-City Models: Automatic and Semi-automatic Acquisition Methods. Photogrammetric Week, Wichmann Verlag, S291-303.
- [8] Grün A., Wang X. (1999): CyberCity Modeler, a tool for interactive 3-D city model generation. Photogrammetric Week, Wichmann Verlag, S1-11.
- [9] Gülch E. (2001): Image Analysis in Semi-automatic building extraction. Künstliche Intelligenz, Heft 4, Arendt Verlag Bremen, S28-31.
- [10] Inpho GmbH (2003), www.inpho.de
- [11] Karner K., Klaus A., Bauer J., Zach Ch. (2003): MetropoGIS: A City Modelling System. Proceedings CORP, Wien, S199-204.
- [12] Maas H.-G., Vosselman G. (1999): Two Algorithms for Extracting Building Models from Raw Laser Altimetry Data. ISPRS Journal of Ph & RS 54, S153-163.
- [13] Peternell M., Steiner T. (2003): Reconstruction of Piecewise Planar Objects from Point Clouds. Computer Aided Design, Elsevier Verlag. Im Druck.
- [14] Pottmann, H., Leopoldeder St. Wallner J., Peternell M. (2002): Recognition and Reconstruction of Special Surfaces from Point Clouds. Internat. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIV/3A, Graz, S271-276.
- [15] Rottensteiner F. (2001) Semi-Automatic Extraction of Buildings Based on Hybrid Adjustment Using 3D Surface Models and Management of Building Data in a TIS. Geowissenschaftl. Mitteilungen, Heft 56, TU Wien.
- [16] Rottensteiner F. (2003): Automatic generation of high-quality building models from lidar data. IEEE Journal, Computer Graphics and Applications, Vol.23 / 6, S42-50.
- [17] Rottensteiner F., Briese Ch. (2002): A New Method for Building Extraction in Urban Areas from High-Resolution LIDAR Data. Internat. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIV/3A, Graz, S295-301.
- [18] Rottensteiner F., Schulze M. (2003): Performance Evaluation of a System for Semi-automatic building extraction using adaptive primitives, Int. Archives of Ph&RS, Vol.XXXIV-3/W8, München, S47-52.
- [19] Shiode N. (2001): 3D urban models: recent developments in the digital modelling of urban environments in three dimensions. GeoJournal 53(3), S263-269.
- [20] Vosselman G., Suveg I. (2001): Map based building reconstruction from laser data and images. In Baltsavias, Gruen (Eds): Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III), Swets & Zeitlinger Publishers, Lisse, S231-239.

Autorenkontakt:

Prof. Dr. Josef Jansa

Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung,
Technische Universität Wien, Gusshausstraße 27-
29/122, 1040 Wien. E-mail: jj@ipf.tuwien.ac.at

DI Dr. Heinz Stanek

Vermessung Schmid, Kreilplatz 1 Stg.2, 1190
Wien. E-mail: stanek@geoserve.co.at