

Integration von luftgestützten und terrestrischen Methoden zur Ableitung von 3-D Stadtmodellen

Von Christoph Dold, Claus Brenner und Katharina Jülge, Hannover

ZUSAMMENFASSUNG:

Ein etabliertes Verfahren für die Erfassung von 3D-Stadtmodellen ist das flugzeuggetragene Laserscanning. Dabei werden städtische Gebiete über ein direktes Verfahren mit einem Lasermesssystem abgetastet. Mit Hilfe einer parallel zur Laserdistanzmessung erfolgenden Erfassung der Position und Orientierung des Flugzeugs lassen sich dreidimensionale Punkte auf der Oberfläche direkt bestimmen. In der Regel entstehen sehr umfangreiche Datensätze – bei einer Messpunktdichte von 1 m^2 können Größenordnungen von mehreren Millionen Punkten für Stadtgebiete erreicht werden. Aus solchen Datensätzen können mittels manueller und semiautomatischer Verfahren Modelle für die darin enthaltenen Gebäude abgeleitet werden. Dabei entstehen relativ grobe Gebäudekörper, welche bei Bedarf durch terrestrische Messungen detailliert werden können. Einzelne Objekte wie beispielsweise öffentliche Gebäude, Kirchen etc. können unter anderem mit terrestrischen Laserscannern zusätzlich hochauflösend erfasst werden. Um möglichst realistische Stadtmodelle zu erstellen, müssen anschließend die terrestrisch und flugzeuggestützt erfassten Daten miteinander verschmolzen werden. Die terrestrisch aufgenommenen Gebäude können detailreich modelliert werden und durch die Kombination mit den luftgestützten Daten entstehen visuell ansprechende Stadtmodelle.

ABSTRACT:

An established procedure for the acquisition of 3D-city-models is airborne laser scanning. Urban areas are scanned by a direct procedure with a laser measuring system. Three dimensional points on the surface are directly determined with the help of the aeroplane's position and orientation recorded at the same time as the laser distance measurement. Usually, very extensive datasets are produced – with a measured point density of 1 m^2 , magnitudes of several millions of points can be achieved per city. From such datasets, models can be derived using manual and semiautomatic procedures. They result in relatively coarse building descriptions, which can be refined using terrestrial measurements when demanded. Individual objects as for example public buildings, churches etc. can be scanned additionally at a high resolution with terrestrial laser scanners. In order to provide more realistic city models, terrestrial and airborne recorded datasets have to be merged. The terrestrial scanned buildings can be modelled in detail and by the combination with airborne data visual interesting city models are generated.

RÉSUMÉ:

1 Einleitung und Motivation

Die Nutzung digitaler Geodaten ist für viele Menschen bereits heute Routine. Reiserouten werden durch Routenplaner berechnet, Fahrzeugnavigationssysteme führen Autofahrer auf direkten Weg zum Ziel und auch Handgeräte (Personal Digital Assistants – kurz PDA's) können auf kleinen Displays beliebige Kartenausschnitte in verschiedenen Maßstäben darstellen. Hierzu liefert die Kartographie die nötigen Daten und auch die Algorithmen zur automatischen Datenaufbereitung. Die Systeme der Zukunft werden neben den herkömmlichen zweidimensionalen Karten zusätzlich die dritte Dimension darstellen. Dreidimensionale Modelle werden den Nutzern von sogenannten „Location Based Services“ weitere Informationen liefern, welche das Zurechtfinden in fremder Umgebung, insbesondere in Städten, erleichtern. Virtuelle Stadtmodelle sind jedoch nicht nur für diese ortsbezogenen Dienste relevant, sondern auch für eine Vielzahl von weiteren Anwendungsfeldern, etwa als räumliche Datengrundlage für Stadtinformationssysteme, für die Planung von Funknetzwerken, als Tourismus-Informationssysteme, für die Visualisierung bei der Bauprojektierung und Standortplanung, für Simulationen für Mikroklima, Luftverschmutzung, Lärmausbreitung, zur Risikoanalyse, als Rettungsinformationssystem oder für die Spiele- und Unterhaltungsindustrie.

Die Ableitung von 3-D Stadtmodellen aus Geodaten ist das Ziel einer am Institut für Kartographie und Geoinformatik der Universität Hannover angesiedelten Nachwuchsgruppe. Verfahren zur Gewinnung von Geodaten sollen untersucht und Algorithmen entwickelt werden, welche die wirtschaftliche Erfassung und Fortführung von Stadtmodellen ermöglichen. Dies soll durch Ansätze erreicht werden, die auf der Zusammenführung verschiedener Datenquellen beruhen, einen hohen Automatisierungsgrad besitzen und eine automatisierte Fortführung ermöglichen. Bereits heute liegen Stadtmodelle für zahlreiche Gebiete vor, jedoch meistens in Form von einfachen Blockmodellen, welche die Geometrie von Gebäuden nur grob beschreiben. Für manche Anwendungen ist die Qualität solcher Modelle durchaus ausreichend, doch für die Visualisierung sind diese Modelle meist nicht geeignet. Visuell ansprechende Stadtmodelle können derzeit nur mit sehr hohem manuellen Aufwand und für kleine Gebiete erstellt werden. In der Regel müssen die Gebäude einzeln nachkonstruiert und mit Textur versehen werden. Ein flächendeckender Einsatz für diese nur spärlich automatisierten Methoden ist derzeit aus wirtschaftlichen Gründen in den oben genannten Anwendungsgebieten nicht möglich.

In diesem Beitrag wird ein Ansatz vorgestellt, der die Integration von luftgestützten und terrestrischen Verfahren zur Ableitung von 3-D Stadtmodellen beschreibt. Als Datenquellen werden bei diesem Ansatz ausschließlich Messungen von Laserscannern sowie Bilddaten betrachtet.

2 Vorstellung der verschiedenen Datenquellen

2.1 Luftgestütztes Laserscanning

In den 90er Jahren hat sich das luftgestützte Laserscanning bei der Erfassung von Höhenmodellen etabliert – inzwischen werden ganze Länder mit Laserscanning erfasst. Einige Systeme zeichnen neben den Höhendaten gleichzeitig Bilddaten mit Hilfe einer digitalen Zeilenkamera auf. Die zu scannenden Gebiete werden üblicherweise streifenweise überflogen. Dabei wird die Geländeoberfläche in der Regel mit einem gepulsten Laser zeilenweise abgetastet. Der Laserstrahl wird quer zur Flugrichtung abgelenkt und die Laufzeit der einzelnen Pulse gemessen. Für die Ablenkung des Laserstrahls werden in der Praxis verschiedene Systeme verwendet (*Wehr, Lohr* 1999). Die Messpunktdichte am Boden ist von der Messrate des Systems, dem Öffnungswinkel des Scanners sowie der Flughöhe abhängig. Für die Orientierung des Sensors wird ein Navigationssystem bestehend aus GPS und inertialer Messeinheit benötigt. Bei der Auswertung werden die Bodenpunkte anhand der Entfernungs- und Navigationsdaten berechnet und die einzelnen Flugstreifen zusammengesetzt. Als Ergebnis erhält man gerasterte Modelle, üblicherweise mit einer Auflösung von einem Meter. Die Lagegenauigkeit der Modelle ist im lokalen Koordinatensystem in der Regel besser als 30 cm, die Genauigkeit in der Höhe besser als 15 cm. Mit luftgestütztem Laserscanning können auch große Gebiete wirtschaftlich erfasst werden, allerdings entstehen dabei große Datenmengen.

2.2 Terrestrisches Laserscanning

Das terrestrische Laserscanning ist im Bereich des Vermessungswesen gegenüber dem luftgestützten noch relativ unbekannt und wird bislang nur vereinzelt eingesetzt. Jedoch ist die Zahl der Gerätehersteller größer als bei den luftgestützten Systemen und auch die Anschaffungs- und Betriebskosten sind im Vergleich geringer, was eine schnelle Verbreitung der Geräte begünstigt. Das Prinzip der Messung ist bei allen Herstellern ähnlich. In der Regel erfolgt wie bei den luftgestützten Systemen die Messung der Laufzeit eines Laserpulses. Terrestrische Laserscanner bleiben typischerweise während der Datenaufnahme an einem Standort stehen, wodurch ein teures Navigationssystem wie es im luftgestützten Fall für die Bestimmung von Position und Lage des

Sensors nötig ist entfällt. Die Ablenkung des Laserstrahls erfolgt in den meisten Fällen über Spiegel und durch Drehung der Scaneinrichtung. Moderne Scanner decken einen horizontalen Bereich von 360° ab und werden deshalb auch oft Panoramascanner genannt. Der vertikale Öffnungswinkel der Scanner variiert bei den verschiedenen Modellen, liegt aber meistens im Bereich von -45° bis +45°. Die technischen Eigenschaften terrestrischer Laserscanner unterscheiden sich teilweise erheblich in der maximalen Messentfernung, der Messrate und in der Genauigkeit der Einzelmessung.

Die Nachwuchsgruppe am Institut für Kartographie und Geoinformatik setzt einen Laserscanner der Firma Riegler (Modell LMS Z360) kombiniert mit einer digitalen Kamera für die Erfassung von terrestrischen Laser- und Bilddaten ein. Der Scanner hat eine maximale Reichweite von 200 m, eine Messrate von bis zu 12000 Punkten pro Sekunde und eine Messgenauigkeit von 12 mm für die Einzelmessung.

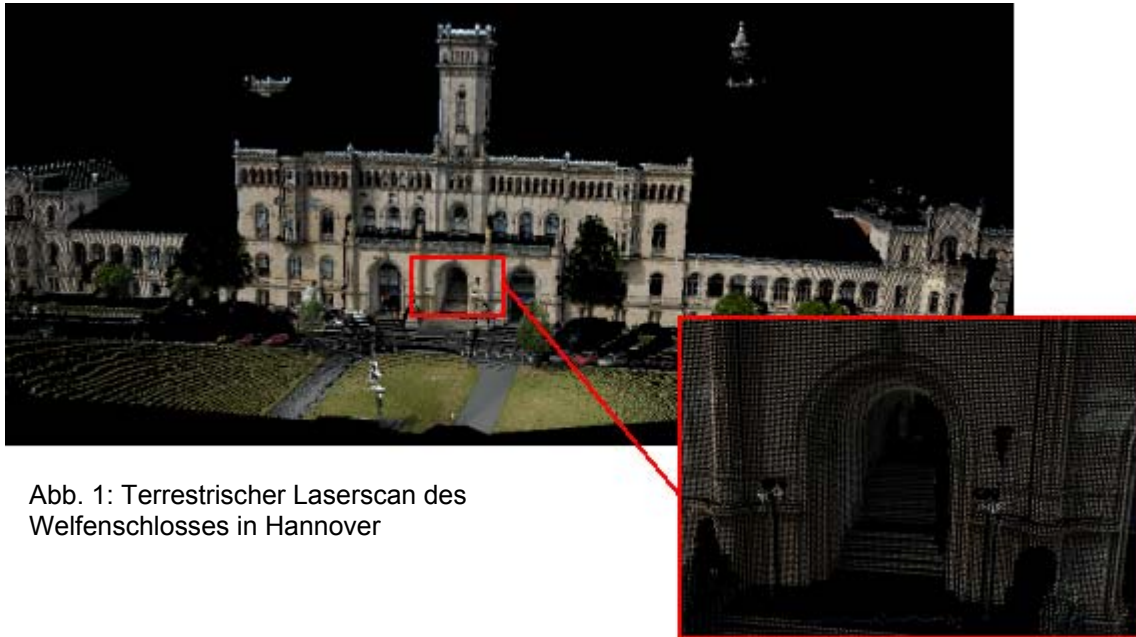


Abb. 1: Terrestrischer Laserscan des Welfenschlosses in Hannover

Komplette Gebäude können mit wenigen Standpunkten erfasst werden. Dabei werden direkt dreidimensionale Koordinaten des Objekts gemessen. Mehrere Scans, die von verschiedenen Standpunkten erfasst worden sind, werden anhand von Passpunkten in ein einheitliches Koordinatensystem transformiert. In diesem Zusammenhang spricht man von der Registrierung der Scans. Als Ergebnis erhält man je nach Messentfernung eine sehr dichte Punktwolke, welche das Objekt beschreibt. Da die Erfassung der Punkte zufällig in Abhängigkeit der Schrittweite des Scanners erfolgt, können Details oder Bruchkanten nicht gezielt erfasst werden. Jedoch beschreibt die große Menge an Punkten das Objekt in den meisten Fällen hinreichend genau. Abbildung 1 zeigt eine Punktwolke, die mit dem Scanner Riegler LMS Z360 aufgenommen wurde. Die Messpunkte wurden mit Hilfe der ebenfalls erfassten Bilddaten eingefärbt. Die dargestellte Punktwolke beinhaltet knapp 600 000 Punkte und wurde mit einem einzigen Scan in ca. vier Minuten aufgenommen.

Für die Verarbeitung von Punktwolken existieren kommerzielle Softwarepakete, welche die verschiedenen Schritte der Registrierung, Triangulierung, Modellierung etc. unterstützen. Allerdings ist insbesondere die Modellierung, d.h. der Übergang von den Scandaten zu CAD-Objekten, sehr zeitaufwändig. In der Regel müssen kleinere Punktmengen von einem Operateur ausgewählt werden und das Programm passt anschließend eine vorgegebene Form, zum Beispiel eine Ebene, Zylinder etc., bestmöglich an die selektierte Punktwolke an. Die so erstellten Objekte können verschoben, kopiert, verändert und miteinander verschnitten werden. Auf diese Weise entsteht aus zahlreichen Einzelobjekten ein Modell von der bearbeiteten Punktwolke.

3 Anforderungen an die Datenverarbeitung

Durch die Kombination von Laserscanning mit bildgebenden Sensoren können die für die Stadtmodellierung nötigen Daten wirtschaftlich erfasst werden. Allerdings entstehen die Modelle erst durch die Verarbeitung und Reduktion der Messdaten. Die Schwierigkeit besteht darin, aus den enormen Datenmengen Modelle zu formen. Gebäude von digitalen Stadtmodellen sollten mit wenigen Flächen anstelle von mehreren tausend Punkten beschrieben werden.

Die Nachwuchsgruppe entwickelt Algorithmen zur Verarbeitung solcher Daten mit dem Ziel, 3D-Stadtmodelle möglichst automatisch zu generieren. Dabei wird ein Ansatz zur integrierten Extraktion der Daten verfolgt. Es soll ein flexibler Prozess entstehen, der Erweiterungen und Änderungen einzelner Schritte problemlos zulässt. Dadurch wird eine strikte Trennung der Datenverarbeitung bezüglich der Rohdatenquellen und der Extraktionsverfahren vermieden. Abbildung 2 zeigt schematisch den Ablauf der integrierten Datenverarbeitung. Die verschiedenen Datenquellen werden von Beginn an fusioniert, d.h. terrestrische und luftgestützte Scan- und Bilddaten liegen registriert und in einheitlichen Datenstrukturen vor. Die Extraktion von Objekten erfolgt erst anschließend unter Einbeziehung möglichst vieler verschiedener Datenquellen. Das Hinzufügen von weiteren Daten oder die Kombination mit anderen Daten wie zum Beispiel Fahrzeugnavigationen ist innerhalb der Prozesskette möglich. Das Ergebnis ist eine umfassende Geodatenbank, aus der extrahierte Geodaten abgeleitet werden können.

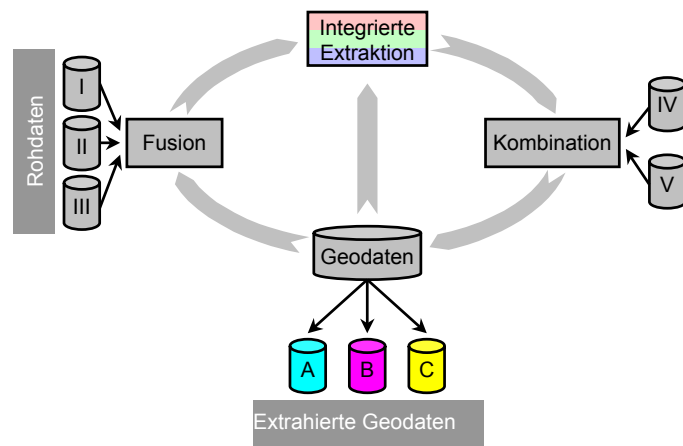


Abb. 2: Schema der Datenverarbeitung

Aus diesem Ansatz der Datenverarbeitung ergeben sich für die Nachwuchsgruppe die folgenden zentralen Forschungsaufgaben:

- **Geodatenfusion**
Hierzu gehört die Verwaltung der verschiedenen Datenquellen. Ziel ist dabei, alle Daten georeferenziert in ein einheitliches Datenformat zu bringen und Zugriffsfunktionen für die Objekte und Attribute der Daten bereit zu stellen.
- **Extraktion**
Die Überführung der Punktdaten in Modelle. Hierbei kommt es zu einer Interpretation und damit zur Reduktion der Datenmenge.
- **Kombination**
Eine automatische Kombination von Stadtmodellen mit bestehenden digitalen Karten wird ermöglicht, indem Verfahren bereit gestellt werden, die eine Anpassung der jeweiligen Auflösungsstufen durch automatische Generalisierung erlauben.

Um diese Anforderungen für die Datenverarbeitung zu erfüllen und eine enge Zusammenarbeit zwischen den Mitgliedern der Nachwuchsgruppe zu ermöglichen, wurde zunächst eine gemeinsame Plattform zur Datenhaltung geschaffen. Diese besteht im Wesentlichen aus zwei Bibliotheken, welche Zugriffsfunktionen für symbolische und ikonische Daten enthalten. Symbolische Daten beschreiben die Geometrie und die Eigenschaften von Objekten, ikonische Daten dagegen beinhalten regelmäßig gerasterte Daten. Bei der Entwicklung der Bibliotheken wurde darauf geachtet, dass bestehende Datenformate verwendet wurden. Beispielsweise wurde als Rasterdatenformat das „Tagged Image File Format“ (TIFF) verwendet. Das TIF-Format ist ein gängiges Bilddatenformat, erlaubt aber auch die Abspeicherung von zusätzlichen Attributen sowie die Speicherung beliebiger Datentypen. Somit konnte die Bibliothek mit Routinen zum Lesen und Speichern von Fließkommabildern ausgestattet werden, was die Handhabung digitaler Höhenmodelle erlaubt. Gewöhnliche Farbbilder können aber nach wie vor mit gängiger Bildverarbeitungssoftware gelesen werden. Des Weiteren sind die Bibliotheken für die Verarbeitung großer Datenmengen ausgelegt.

Module zur Datenverarbeitung werden als eigenständige Programme (Tasks) in einer höheren Ebene entwickelt. Diese nutzen die standardisierten Schnittstellen für die Datenhaltung und den Datenaustausch. Dadurch können jederzeit Module ausgetauscht, entfernt oder auch neue Module in eine bestehende Programmkette problemlos integriert werden (Brenner, Dold, Jülge 2003).

4 Geodatenfusion und Objektextraktion

4.1 Geodatenfusion für Scandaten

Terrestrische und luftgestützte Laserscans sowie die zugehörigen Bilddaten werden jeweils getrennt voneinander aufgenommen. Luftgestützte Daten liefern flächendeckende Höhenmodelle, die für die

Berechnung von einfachen Stadtmodellen verwendet werden. Für Bereiche mit höheren Genauigkeitsanforderungen und bei besonderen Einzelgebäuden wird lokal ein terrestrischer Laserscanner eingesetzt und Punkt- und Bilddaten werden mit hoher Auflösung erfasst. Anhand dieser Daten werden die ausgewählten Gebäude modelliert. Dabei können Mauervorsprünge, Balkone, Fenster und andere Details berücksichtigt werden.

Bevor mit der Modellierung begonnen wird, ist es sinnvoll, die verschiedenen Datensätze zunächst zu fusionieren. Dabei ergänzen sich die Informationen aus der luftgestützten und terrestrischen Erfassung. Bei terrestrisch aufgenommenen Daten können Dachflächen häufig aufgrund von Einschränkungen bei der Standpunktwahl nur teilweise oder überhaupt nicht erfasst werden. Diese werden aber von luftgestützten Verfahren mit guter Genauigkeit aufgenommen. Da Dächer meist aus relativ großen und regelmäßigen Flächen bestehen, ist die bei luftgestützten Scans erreichte Punktdichte in der Regel für eine realitätsnahe Modellierung der Dachflächen ausreichend. Durch die Datenfusion ist es möglich, die Gesamtmenge der vorhandenen terrestrischen und luftgestützten Daten zur Modellierung der Objekte heranzuziehen.

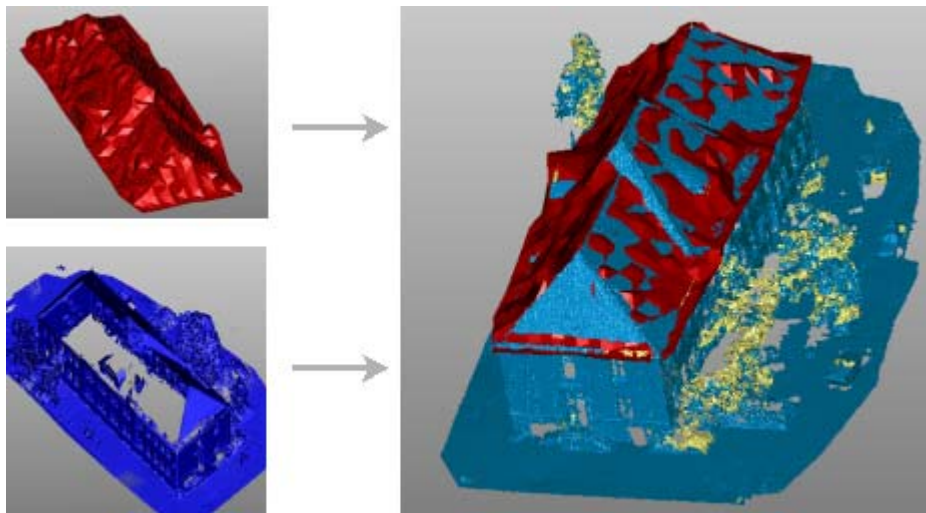


Abb. 3: Datenfusion von luftgestützten und terrestrischen Scans

Abbildung 3 enthält ein Beispiel für fusionierte Laserdaten. Das erste Bild links zeigt eine ausgeschnittene Dachfläche aus einem luftgestützten Scan, das zweite den zugehörigen terrestrischen Scan. In letzterem Fall wurden die Dachflächen aufgrund von Sichtbarkeitsbeschränkungen nur teilweise erfasst. Beide Punktwolken wurden trianguliert. Man erkennt deutliche Unterschiede in der Punktdichte und Messgenauigkeit zwischen den beiden Datensätzen. Die dritte Abbildung rechts zeigt schließlich die fusionierten Daten, es entsteht eine Punktwolke, die das Gebäude vollständig beschreibt.

Neben den Scandaten stehen für die erfassten Objekte auch Bilddaten zur Verfügung. Üblicherweise wird jedem gescannten Punkt ein Farbwert zugeordnet, somit entstehen eingefärbte Punktwolken (siehe Abbildung 1), die das jeweilige Objekt visuell ansprechend darstellen. Allerdings wird in diesen Fällen die höhere Auflösung der Fotografien verschenkt, es werden nur einzelne Farbwerte verwendet. Besser ist es, die vorhandene Textur als solche beizubehalten und mit den Scandaten zu verknüpfen. Dadurch können später die Texturen in voller Auflösung an das fertige Modell angebracht werden.

4.2 Objektextraktion

Die Hauptaufgabe hierbei ist die Überführung der Punktdaten in einzelne Objekte. Da beispielsweise eine hohe Anzahl an Messpunkten nur eine einzige Ebene beschreiben kann, kommt es in diesem Schritt zu der entscheidenden Reduktion der Datenmenge. Prinzipiell ist die Objektextraktion ein Problem der Objekterkennung, ein Modell eines Objektes soll in einem Datensatz gefunden werden. Im Allgemeinen wird zwischen generischen und spezifischen Modellen unterschieden. Spezifische Modelle beschreiben exakt die Gestalt und Größe eines bestimmten Objektes. Diese Art der Modelle ist für die Stadtmodellierung ungeeignet, da es in der Realität eine Vielzahl an unterschiedlichen Gebäuden gibt. Besser sind generische Modelle, die Gestalt eines Objektes wird festgelegt, aber die Größe bleibt variabel und kann individuell angepasst werden. Nach einem Ansatz von *Brenner* (2000) für die Verarbeitung von luftgestützten Scandaten werden mittels parametrischer Modelle verschiedene Dachformen vorgegeben. Das Verfahren ermittelt unter Einbeziehung der

Grundrissdaten automatisch die Dachformen der Gebäude. Über Schätzverfahren werden die parametrischen Modelle an das Oberflächenmodell angepasst. Die Höhe der Gebäude kann ebenfalls aus dem Oberflächenmodell abgeleitet werden. Auf diese Weise können Gebäudeprimitive rekonstruiert werden. Abbildung 4 zeigt die Primitive eines größeren rekonstruierten Gebäudes und das zugehörige Höhenmodell.

Dieser Ansatz wird im Rahmen der Nachwuchsgruppe weiterentwickelt und auf die Verarbeitung von fusionierten Datensätzen erweitert. Anhand der zusätzlichen terrestrischen Daten sollen auch kleinere Gebäudeteile automatisch rekonstruiert werden können. Objekte können durch die Zuordnung von Segmentierungsergebnissen erkannt und modelliert werden. Es wird zusätzliche Primitive für Balkone, Erker, Fensterlaibungen, Treppen, etc. geben, die automatisch erkannt und an das bestehende Modell angefügt werden.

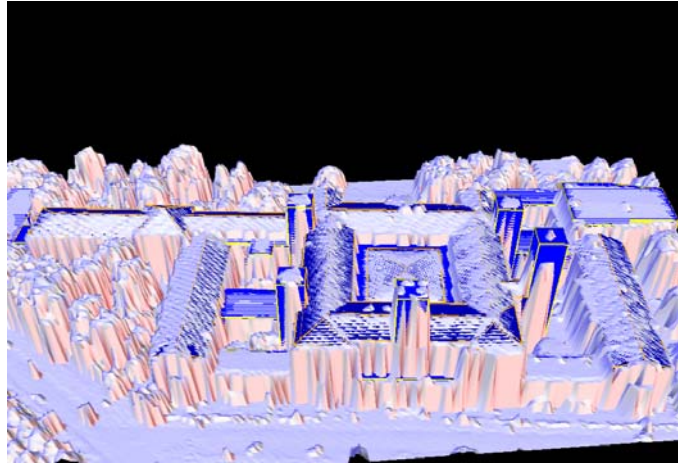


Abb. 4: Rekonstruierte Gebäudeprimitive für das Welfenschloss und zugehöriges Höhenmodell

5 Zusammenfassung und Ausblick

Bestehende Verfahren zur Erstellung von 3D-Stadtmodellen sind derzeit aufgrund des hohen manuellen Aufwands zur Erfassung und Fortführung nur auf begrenzte Gebiete anwendbar. Entscheidend für die zukünftige Verfügbarkeit derartiger Modelle wird sein, inwieweit es gelingt, die Erfassungsprozesse zu automatisieren. In diesem Artikel wurden einige Ansätze dazu vorgestellt und erste Ergebnisse im Bereich der Datenfusion und Objektextraktion wurden beschrieben.

Der Schwerpunkt der Arbeiten der nächsten Zeit wird zum einen in der Datenfusion liegen. Dabei sollen terrestrische Scans zur Optimierung des Scanablaufs automatisch registriert werden. Zum anderen wird die Objektextraktion von Gebäudeteilen, welche mit terrestrischen Scannern erfasst wurden, Ziel der Untersuchungen sein.

Danksagung

Die hier vorgestellten Arbeiten erfolgten im Rahmen der von der VolkswagenStiftung geförderten Nachwuchsgruppe „Automatische Verfahren zur Fusion, Reduktion und konsistenten Kombination komplexer heterogener Geoinformation“.

Literatur

Brenner, Claus (2000): Dreidimensionale Gebäuderekonstruktion aus digitalen Oberflächenmodellen und Grundrissen; Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 530, München

Brenner, C., Dold, C., Jülge, K. (2003): Fusion, Interpretation and Combination of Geodata for the Extraction of Topographic Objects, Proc. Workshop 3-D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data, Maas, H.-G., Vosselman, G., Streilein, A. (Hrsg.), International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV, Part 3/W13, Dresden

Wehr, Aloysius and Lohr, Uwe (1999): Airborne Laserscanning – an introduction and overview; ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Issue 54; pp. 68-82