



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Institut für Photogrammetrie und Kartographie  
Fachgebiet Photogrammetrie und Fernerkundung

# Änderungsdetektion in urbanen Gebieten durch objektbasierte Analyse und schritthaltenden Vergleich von Multi-Aspekt ALS-Daten

Marcus Hebel

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Th. Wunderlich

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. U. Stilla  
2. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. R. Westermann  
3. Hon.-Prof. Dr. rer. nat. M. Tacke,  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Die Dissertation wurde am 03.05.2012 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen am 07.09.2012 angenommen.

---

# Kurzfassung

---

Eine Automatisierung der Änderungsdetektion in urbanen Gebieten kann durch die zeitversetzte Erfassung und den Vergleich von Fernerkundungsdaten erfolgen. Dabei werden besondere Anforderungen an die eingesetzte Sensorik und die Methodik zur Datenauswertung gestellt, wenn ein sofortiges Vorliegen der Ergebnisse notwendig ist. Solche Randbedingungen bestehen z.B. bei der Unterstützung von Hubschrauberpiloten im Rahmen von Überwachungsaufgaben oder Rettungseinsätzen.

In der vorliegenden Arbeit wird die Eignung des flugzeuggetragenen Laserscannings (engl. Airborne Laser Scanning, ALS) zur Lösung dieser Aufgaben untersucht. ALS bietet hierfür flexible Möglichkeiten der direkten 3D-Datenerfassung in niedrigen Flughöhen bei variablen Geschwindigkeiten. Eine Besonderheit des hier verfolgten Ansatzes ist die Betrachtung von Multi-Aspekt ALS-Daten, die sich durch die Verwendung eines in Schrägsicht vorausblickenden Laserscanners ergeben. Diese Sensorkonfiguration ist im Hinblick auf die oben genannten Anwendungen erforderlich und ermöglicht außerdem eine für ALS sonst untypische Erfassung von Fassadenflächen.

Im ersten Teil dieser Arbeit wird eine Methodik vorgestellt, durch die sowohl eine Kalibrierung des Sensorsystems als auch eine Zusammenführung der Multi-Aspekt ALS-Daten eines urbanen Gebiets erzielt werden. Die dazu beschriebene Vorgehensweise ist insbesondere auch für die hier untersuchte Schrägsicht des Laserscanners geeignet. Im Zuge einer objektbasierten Analyse der einzelnen Punktwolken werden planare Flächenstücke mit Hilfe eines Segmentierungsverfahrens identifiziert, das ein Flächenwachstumsverfahren mit einem RANSAC-Schätzverfahren kombiniert. Anschließend werden homologe Flächenstücke anhand geometrischer Attribute ausfindig gemacht. Mit Hilfe einer neuartigen Methode können Planaritätsbedingungen für diese Zuordnungen in lineare Gleichungssysteme überführt werden, durch deren Lösung sich einerseits die Boresight-Kalibrierung des ALS-Systems und andererseits die Angleichung der ALS-Datensätze durchführen lässt.

Der zweite Teil der Arbeit behandelt die während einer erneuten Befliegung stattfindende Änderungsdetektion, die auf den zuvor vereinheitlichten Referenzdaten aufbaut. Es wird eine neue Herangehensweise für den schritthaltenden Vergleich von ALS-Daten vorgestellt, bei der es sich um eine Erweiterung des Konzepts der Belegungsgitter handelt. Anstelle eines Vergleichs von Punktwolken werden dabei 3D-Raubereiche entlang der Ausbreitungswege der Laserpulse bezüglich der Zustände *leer*, *belegt* und *unbestimmt* bewertet. Das dazu vorgeschlagene Vorgehen basiert auf der Wissensrepräsentation und Informationsfusion entsprechend der Dempster-Shafer Evidenztheorie, wobei Änderungen als Konflikte in der Raumbelugung erkennbar werden. Zusätzlich werden Objektmerkmale ausgewertet, um Änderungsereignisse verschiedenen Kategorien zuzuordnen.

Im dritten Teil der Arbeit werden die durchgeführten Experimente zur Systemkalibrierung, Datenregistrierung und Änderungsdetektion vorgestellt und detailliert diskutiert. Die Kalibrierung des verwendeten ALS-Experimentalsystems konnte bei allen erfassten urbanen Gebieten zuverlässig vorgenommen werden. Das erarbeitete Verfahren zur schritthaltenden Änderungsdetektion wurde ebenfalls erfolgreich anhand realer Multi-Aspekt ALS-Daten validiert, wofür ein ausgewähltes urbanes Gebiet im Abstand eines Jahres jeweils entlang mehrerer Flugrichtungen erfasst wurde.

---

# Abstract

---

The identification of changes in urban areas is a common approach used for damage inspection, traffic monitoring, or documentation of urban development. The implementation of an automatic change detection procedure requires the acquisition and comparison of multitemporal remote sensing data. Special requirements must be met by the sensors and the methods used for data processing if the results are intended to support short-term operations, such as airborne surveillance of urban areas, terrain-referenced navigation, or detection of rapid changes. Examples for these scenarios can be found in semi-automatic flight guidance for helicopters, landing operations in urban terrain, obstacle avoidance, search and rescue missions, emergency services, or disaster management.

In this thesis, airborne laser scanning (ALS) is employed to cope with the tasks of automatic change detection. ALS belongs to the group of established technologies for directed data acquisition. In contrast to other remote sensing techniques, it delivers instantaneous 3D measurements which enables the immediate interpretation of these data. Novel to the proposed approach is the consideration of multiview ALS scans that are acquired with an oblique forward-looking laser scanner. In addition to advantages in terms of data coverage, this configuration fulfills the requirements of the above-mentioned applications.

The first part of this thesis presents a methodology to be used for the calibration of ALS systems and the alignment of multiview ALS scans of urban areas. Although applicable to classical nadir configurations, the presented approach is particularly suited to data from an oblique forward-looking laser scanner. A combination of a region-growing approach with a RANSAC estimation technique is used to extract planar shapes. Homologous planar shapes in overlapping point clouds are identified with regard to several geometric attributes. A new method is presented for transferring the planarity constraints into systems of linear equations to achieve both the boresight calibration of the ALS system and the alignment of multiple data sets.

ALS scans that were obtained in the first step represent a solid basis and reference for change detection, which is addressed in the second part of the thesis. The presented framework for online comparison of ALS data extends the concept of occupancy grids known from robot mapping. In this approach, sections of 3D space are labeled *empty*, *occupied* or *unknown* with the intention to identify conflicting information. However, instead of interpolating the data on raster cells, occupancy conflicts are identified at the exact positions of the measured 3D points. The proposed change detection method is based on the representation of uncertainty and belief according to the Dempster-Shafer theory of evidence. Additional attributes are considered in order to decide whether changes are of man-made origin or occurring due to seasonal effects.

In the last part of this thesis, experimental results of system calibration, data registration and change detection are presented and discussed in detail. All experiments regarding the calibration of the ALS system were successfully performed for widely different types of urban terrain. The concept of online change detection was validated using data of an urban test site where multiview ALS data were acquired at an interval of one year.