# Change Detection auf Grundlage von hochauflösenden LiDAR und UAS-basierten Oberflächenmodellen

Gernot PAULUS<sup>1</sup>, Christopher CHAVIS<sup>2</sup> und Karl-Heinrich ANDERS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Studiengang Geoinformation und Umwelttechnologien, FH Kärnten, Villach · paulus@cuas.at <sup>2</sup>Department of Geography, Diego State University, San Diego, USA

## Motivation

Hochauflösende Oberflächenmodelle spielen heute eine große Rolle bei vielen Anwendungen im Bereich der Hochwassersimulation, der Gefahrenzonenmodellierung, der Forstwirtschaft oder der Habitatsmodellierung, um nur einige Beispiele zu nennen. Aktuell werden diese Digitalen Oberflächenmodelle (DOM) vorwiegend durch Airborne Laser Scanning (ALS) erfasst und stellen mittlerweile einen immer weiter verbreitenden und flächendeckend verfügbaren Geobasisdatensatz nicht nur in Österreich dar. Speziell eine flächendeckende Erfassung und Nachführung von ALS-Daten ist zeitaufwendig und kostenintensiv, und kommt daher für die quantitative Analyse von raumzeitlichen Veränderungsprozessen nur bedingt infrage.

Unbemannte Flugsysteme (Unmanned Aerial Systems (UAS) bzw. Remotely Piloted Airborne Systems (RPAS)), kurz "Flugdrohnen" genannt, haben in den letzten Jahren eine rasante technologische Entwicklung vollzogen. Der Fokus der internationalen Entwicklung lag bisher im Bereich der Entwicklung von marktreifen, robusten und verlässlichen RPAS Plattformen. Hochpreisige Dienstleistungen beschränken sich in erster Linie auf militärische Anwendungen mit entsprechend großen Systemen wie zum Beispiel im Bereich der "Terrorbekämpfung" oder der Grenzsicherung. Diese Systeme sind jedoch aufgrund ihrer Größe, des hohen Gewichts sowie der sehr hohen Kosten für den zivilen Anwendungsbereich nur eingeschränkt nutzbar. Obwohl nach wie vor der Hauptfokus im militärischen Bereich liegt, zielt der globale RPAS-Markt doch auch immer stärker mit der Entwicklung von sogenannten "Small UAS"-Plattformen auf den zivilen Markt ab (Personal observation AUVSI 2012 Conference & Exhibition in Las Vegas in August 2012; RPAS 2012).

Diese "Small UAS"-Plattformen können in vertikale Start- und Landesysteme (Vertical Take-off and Landing(VTOL)-Systeme) mit mehreren Rotoren als Antrieb (Quadro- oder Oktocopter) und tragflächenbasierte Plattformen (Fixed-Wing) unterteilt werden. Speziell für Flächenanwendungen wie die Erfassung von Luftbildern sind die tragflächenbasierten Systeme aufgrund der geringen Windanfälligkeit, der ruhigen Flugeigenschaften sowie aufgrund von Sicherheitsaspekten bei Motorausfall gut geeignet. UAS-basierte Farbluftbilder (RGB) dienen einerseits als Grundlage für die Generierung von hochauflösenden Farborthophotomosaiken (Auflösung ca. 5 cm) und andererseits bei entsprechend hoher Überlappung (bis zu 80 %) für die Berechnung von Digitalen Oberflächenmodellen mittels photogrammetrischer "High Density Image Matching" Algorithmen ((EuroSDR 2012).

## **Projekthintergrund und Methodik**

Im Rahmen eines Joint Research Projektes zwischen dem Studiengang Geoinformation und Umwelttechnologien an der FH Kärnten und dem Department of Geography an der San Diego State University (USA) wurde nun das Potenzial einer tragflügelbasierten Plattform (Abb. 1) für die Erfassung von hochauflösenden Farborthophotos als Grundlage für die photogrammetrische Berechnung einer 3D-Punktwolke und der daraus erfolgten Ableitung eines Digitalen Oberflächenmodells untersucht (CHAVIS et al. 2012).



Abb. 1: Überblick über die Komponenten der im Rahmen der Studie verwendeten UAS-Plattform LOUIS der Firma Terrapan Labs

Das Untersuchungsgebiet war der FH Campus in Villach mit einer räumlichen Ausdehnung von ca. 500 m × 500 m. Als **Basisdatensatz** für diese Studie dienten LiDAR-ALS-Daten mit Aufnahmezeitpunkt April 2010. Die Befliegung wurde im Rahmen des Projektes "Airborne Laserscanning Kärnten" von der österreichischen Firma Diamond Airborne Sensing GmbH (Wiener Neustadt) mit dem Laserscanner Riegl LMS Q680i durchgeführt. Genauigkeitsanforderungen waren: (1) ein maximaler Punktabstand von 0.9 m; (2) eine horizontale Lagegenauigkeit von mindestens ±0.3 m im System UTM33/ETRS89 sowie (4) eine vertikale Höhengenauigkeit von mindestens 0.15 cm im System UTM33/ETRS89. Für die vergleichende quantitative Analyse wurde ein 1 m DOM, das aus der ALS-Originalpunktwolke mit 4 Messpunkten pro m² abgeleitet wurde, verwendet (WENGER-OEHN 2011). Die Erfassung der UAS-Luftbilder ("**Change Data Set**") erfolgte im Rahmen einer Flugmission im Juli 2012. Die Flughöhe betrug dabei 150 m, für die photogrammetrische Generierung der 3D-Punktwolke wurden insgesamt 140 Bilder mit einer 60 % Überlappung in Flugrichtung und einer 80 % Seitüberlappung verwendet. Als Kamerasensorsystem wurde eine adaptierte und kalibrierte Lumix LX5 der Firma Panasonic mit einer Auflösung von 10 Mega-

pixel eingesetzt. Die Aufnahmetriggerung erfolgte dabei elektronisch in einem Zeitabstand von 2 Sekunden. Als Referenzdaten für die Validierung wurde ein dichtes Netz von 3D-Passpunkten verwendet. Diese DGPS-Referenzpunkte wurden zum selben Zeitpunkt wie die Flugmission mit einem Leica Geosystems GS08 DGPS sowohl im Gelände als auch im Dachbereich ausgewählter Gebäudeobjekte vermessen. Zusätzlich wurden für ausgewählte Gebäude mittels eines Leica Disto D5 Laserdistanzmessgerätes die Gebäudehöhe gemessen. Aus den oben beschriebenen UAS-Luftbildern wurde nun unter Berücksichtigung der Telemetriedaten der Flugmission mittels Bundle Block Adjustment (BBA) photogrammetrisch auf Basis der überlappenden Luftbilder ein DOM berechnet. Dabei wird durch Triangulation die mathematische Beziehung zwischen den einzelnen Luftbildern mit den entsprechenden GPS Positionen, dem externen Sensormodel der UAS-Plattform ("Pitch" -"Roll" "Yaw") und der internen Sensorkalibrierung (Kamerakalibierungsparameter) für die Extraktion der Höheninformation berechnet. Das BBA wurde in diesem Projekt mittels Bloodhound, einem automatischen, Cloud- basierten Service für die Generierung von 3D-Punktwolken, DOM's und Orthophotomosaiken durchgeführt (TerraPanLabs 2013). Dieses Service beruht auf den von der Schweizer Firma Pix4D entwickelten Algorithmen zur automatisierten Luftbildmosaikierung und Oberflächenmodellberechnung (PIX4D 2013).

## Ergebnisse

Abbildung 2 gibt einen Überblick über das Projektgebiet und zeigt perspektivisch das photogrammetrisch generierte DOM überlagert mit dem UAS- Farborthophotomosaik.



Abb. 2: Perspektivische Ansicht des Projektgebietes am FH Campus in Villach (Zeitpunkt 07/2012). Die Rechtecke zeigen 2 Gebäude, die zum Zeitpunkt der ALS Datenerfassung im April 2010 noch nicht vorhanden waren. Abbildung 3 zeigt ein Differenzmodell zwischen dem ALS-DOM-2010 als Basisdatensatz und dem UAS-DOM-2012. Die grünen Farbbereiche zeigen dabei geringe Änderungen an, die blauen Farbtöne eine Höhenzunahme und die roten Bereiche eine Höhenabnahme



Abb. 3: Höhendifferenzvergleich (in m) zwischen ALS-DOM und UAS-DOM. Die Rechtecke zeigen die seit April 2010 neu errichteten Gebäude.

Quantitativ wurden die mit den unterschiedlichen Methoden berechneten Oberflächenhöhen am Beispiel von ausgewählten Geländepunkten und Gebäuden verglichen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die berechneten Höhenpunkte.

DGPS-Passpunkt- nummer	DGPS- Höhe	ALS-DOM- Höhe	UAS-DOM- Höhe	ALS-UAS-DOM- Höhendifferenz
6 Geländeoberfläche	538.979	538.577	538.985	0.225
46 FH Dachebene 1	554.826	553.885	554.67	0.582
48 FH Dachebene 2	557.853	556.56	557.877	0.5

 Tabelle 1:
 Höhenvergleich zwischen ausgewählten DGPS-Passpunkten, ALS-DOM und UAS-DOM

Tabelle 2 zeigt einen Vergleich von ausgewählten Gebäudehöhen im Projektgebiet. Zusätzlich wurden hier die Gebäudehöhen mittels manueller Laserdistanzmessung bestimmt. Nachdem für die beiden neu errichteten Gebäude keine ALS Daten vorlagen, dient hier die manuelle Gebäudehöhenmessung als einziger Referenzwert.

Gebäude	DGPS- Höhe	ALS-DOM Höhe	UAS-DOM Höhe	Laser- distanz	Max. Diffe- renz
FH Gebäude Dachebene 1	15.847	15.308	15.685	15.758	0.539
FH Gebäude Dachebene 2	18.874	17.893	18.892	18.754	0.981
Neues Gebäude 1 (Stud. Heim)	kein Wert	kein Wert	9.942	9.935	0.007
Neues Gebäude 2	kein Wert	kein Wert	8.076	8.012	0.064

 Tabelle 2:
 Gebäudehöhenvergleich (in m)

In Abbildung 4 ist die Höhenänderung zwischen ALS-DOM und UAS-DOM für das gesamte Projektgebiet dargestellt.



Abb. 4: Höhenänderung zwischen ALS-DOM und UAS-DOM. Das Orthophotomosaik wurde mit Bloodhound erstellt, die schwarzen Rechtecke kennzeichnen die neuen Gebäude, das strichlierte Rechteck das FH-Gebäude.

#### Diskussion

Der visuelle Vergleich zwischen dem ALS- Oberflächenmodell und dem UAS-Oberflächenmodell zeigt einerseits das sehr gute Erkennen der neu errichteten Gebäude mit einer zufriedenstellenden Genauigkeit. Besonders die Gebäudehöhen der beiden neu errichteten Gebäude konnte exakt mittels UAS und BBA mit maximalen Höhendifferenzen von 20 cm verifiziert werden. Diese Ergebnisse decken sich mit den von KÜNG et al. (2011) beschriebenen Genauigkeiten in der Anwendung von automatisierten photogrammetrischen Methoden für UAS-Luftbildaufnahmen.

Andererseits zeigen die Ergebnisse doch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Oberflächenmodellen. Speziell in den Randbereichen des Projektgebietes lassen sich diese Unterschiede durch eine nur einseitige Seitenüberlappung der UAS-Luftbilder erklären. Ein weiterer methodischer Aspekt dieser Arbeit ist die unterschiedliche räumliche Auflösung der Oberflächenmodelle. Das vorliegende ALS-DOM weist eine räumliche Auflösung vom 1m auf, das auf Grundlage der UAS-Luftbilder mittels BBA generierte DOM dagegen eine signifikant höhere Auflösung von 6.8 cm auf. Dadurch kommt es speziell bei der Analyse der Höhenänderung im Bereich von bestehenden Gebäudekanten zu fehlerhaften Werten.

Die vorliegenden Ergebnisse sind durchaus vielversprechend, speziell für kleine Projektgebiete, wo eine hohe Detaillierung und räumliche Auflösung notwendig ist. Vor allem die zeitlich sehr schnelle Durchführung der UAS-Flugmission mit einer sehr zeitnahen Prozessierung der Daten sowie eine bei Bedarf hohe zeitliche Frequenz und Wiederholung der Befliegung bei geringen Kosten stellt einen großen Vorteil dieser Methodik dar.

#### Literatur

- CHAVIS, C. (2012), Change Detection for Environmental Monitoring Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery. Unpublished Project Report Austrian Marshallplan Foundation.
- ERDAS, INC. (2010), LPS Project Manager. User's Guide.
- EUROSDR (2012), Workshop on High Density Image Matching for Digital Surface Model (DSM) Computation. 16.2. 17.2. 2012, Vienna University of Technology.
- KÜNG, O., STRECHA, C., BEYELER, A., ZUFFREY, J-C., FLOREANO, D., FUA, P. & GERVAIX, F., (2011), The Accuracy of Automatic Photogrammetric Techniques on Ultra-Light UAV Imagery. International Archives of the Photogrammetric, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVIII, 1-6.
- PIX4D (2013), Pix4UAVCloud. http://www.pix4d.com/pix4uav\_product.html (19.4.2013).
- RPAS (2012), RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems): The Global Perspective. 10th edition, UVS international report.
- TERRAPANLABS (2013), Bloodhound. http://www.terrapanlabs.com/products/bloodhound (19.4.2013).
- WÜRLÄNDER, R. (2011), Airborne Laserscanning Land Kärnten, Gebiet Villach. Interner Abschlussbericht DI Wenger-Oehn ZT GmbH für das Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 8 – Umwelt, Wasser und Naturschutz.