
An der Grenze des Machbaren - Photogrammetrische UAV Großprojekte in der Praxis

Thomas FONTANA¹ und Hansjörg RAGG²

¹Alto Drones GmbH, Bozen

thomas.fontana@alto-drones.com

²REDcatch GmbH, Fulpmes

hansjoerg.ragg@redcatch.at

1 Einleitung

Multirotor UAVs haben sich in den vergangenen Jahren am Markt etabliert um kostengünstig und vor allem zeitnah Objekte in der Größe von einigen Hektar (meist in der Größe von Steinbrüchen, Kiesgruben, Neubaugebieten) dreidimensional zu vermessen.

Die Einsatzmöglichkeiten von UAVs in der Vermessung schienen vor zwei-drei Jahren noch unbegrenzt. Die Flugzeit der Geräte, die rechtliche Situation, Umwelteinflüsse und auch Wirtschaftlichkeitsrechnungen verglichen mit anderen Aufnahmeverfahren zwangen viele Firmen ihre Kopter weniger als geplant bei Alltagsaufgaben einzusetzen.

Spezialisierung und Kooperation ist was die Firma Alto Drones aus Bozen und die REDcatch GmbH aus Fulpmes/Stubaital seit Anfang 2015 erfolgreich praktizieren. Nachdem UAV Kopter bekannter Weise zuverlässig fliegen und Software für die Nahbereichsphotogrammetrie in den letzten Jahren praxistauglich geworden ist, gilt es die weiteren Herausforderungen, speziell in Gebirgsregionen, zu meistern. Als Partner und Dienstleister für Vermessungs- und Ingenieurbüros werden gemeinschaftlich sehr aufwändige Projekte in der Nahbereichsphotogrammetrie abgewickelt. Speziell hierfür wurden Werkzeuge, z.B. die reliefbasierte Flugplanung und Auswerteworkflows entwickelt, welche in den beiden folgenden Anwendungsfällen illustriert werden.

2 Pistenvermessung von Schigebieten

Schigebiete stehen jedes Jahr vor neuen Herausforderungen, was die wirtschaftliche Produktion von Kunstschnee betrifft. Hersteller von Pistengeräten bieten seit geraumer Zeit eine GNSS RTK Vermessung des Front-Schildes der Geräte an, mithilfe dessen die absolute Schneehöhe live während der Fahrt erfasst werden kann. Dies dient der bestmöglichen, flächigen Verteilung des produzierten Kunstschnees auf den Pisten, mit dem Ziel so wenig wie möglich „teuren“ Kunstschnee produzieren zu müssen und dennoch die Pisten optimal präparieren zu können.

Essentiell für das korrekte funktionieren dieses Schnee-Management-Systems ist eine detaillierte Kenntnis des Sommer-Geländemodells. UAVs bieten hier flexible und wirtschaftliche Möglichkeiten diese Flächen im Genauigkeitsbereich < 10 cm zu vermessen.

Im Folgenden wird an einer durchgeführten Geländemodellvermessung diese Anwendung und der hierfür notwendige Aufwand dargestellt.

2.1 Herausforderung / Planung

Essentiell ist die Auseinandersetzung mit dem Gebiet bereits vor dem Flug. Google Earth und andere zur Verfügung stehende Datensätze, wie beispielsweise Laserscanbefliegungen der Länder, bieten hierfür beste Möglichkeiten. Die Pistenfläche des in diesem Beitrag behandelten Schigebiets beträgt knapp 80 ha und erstreckt sich von ca. 1400 m bis 2300 m ü. M. Diese Fläche muss mit Faktor 2 multipliziert werden, da eine Pufferzone von mindestens 10 m außerhalb der Pisten sowie kleine, ausgesparte Bereiche (z.B. kl. Waldstücke) miteingerechnet werden müssen. Final steht bei diesem Projekt eine Orthophotofläche von 170 ha dem Kunden zur Verfügung.

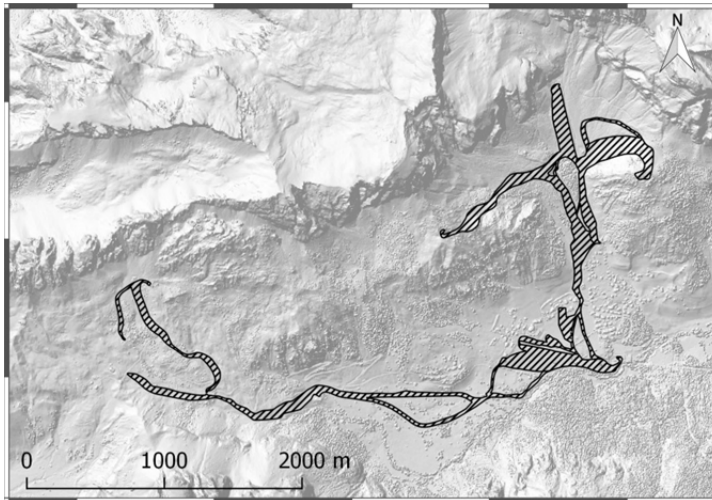


Abb. 1:
Per UAV aufzunehmende Pistenflächen (ca. 80 ha) mit einer Höhen Genauigkeit von < 10 cm.

Sehr gut zu erkennen, die räumlich große Ausdehnung und die erschwerte Zugänglichkeit in den westlichen und nördlichen Bereichen, welche bereits oberhalb der Waldgrenze in teilweise felsdurchsetztem Gelände liegen. Sogenannte „Ziehwege“ stellen eine Herausforderung dar, da - aufgrund rechtlicher Bestimmungen - die Reichweite von UAVs auf „fliegen auf Sicht“ beschränkt ist und so viele Standorte für Start und Landung notwendig sind.

Für die spätere photogrammetrische Auswertung sind konstante Bildmaßstäbe essentiell, weshalb eine konstante Flughöhe über Grund eingehalten werden muss. Die Fa. Alto Drones hat hierfür einen 3D Flugplaner entwickelt, welcher auf Basis bestehender Geländemodelle die späteren Bildpunkte und Flugstreifen dreidimensional im Raum berechnet. Ohne diese Software wäre ein photogrammetrischer Flug in diesem Gelände praktisch unmöglich und auch vom Sicherheitsaspekt nicht verantwortbar.

Der Vorteil für den Einsatz von UAVs bei diesen Aufgaben ist die zeitliche Flexibilität. Essentiell für die Qualität des späteren Geländemodells ist der Zeitpunkt der Aufnahme. Dieser soll möglichst wenige Tage nach dem sog. „Mulchen“ der Pistenfläche erfolgen.

Weiteres bieten UAV die Möglichkeit kleinere Teilbereiche zu einem späteren Zeitpunkt aufzunehmen. Dies ist vor allem bei Änderungen am Pistenverlauf, Neubauten von Pisten und noch bestehenden Bautätigkeiten der Fall, was in Schigebieten öfters zu dieser Jahreszeit der Fall ist.

2.2 Durchführung

Nur durch Erfahrung und die exakte Flug- und Passpunktplanung im Büro ist es möglich diese großen, feingliederten Flächen in nur knapp zwei Geländetagen aufzunehmen. In den, autonom durchgeführten, 30 Flügen wurden insgesamt 4840 Bilder aufgenommen und so RAW Dateien mit insgesamt 114 GB produziert.

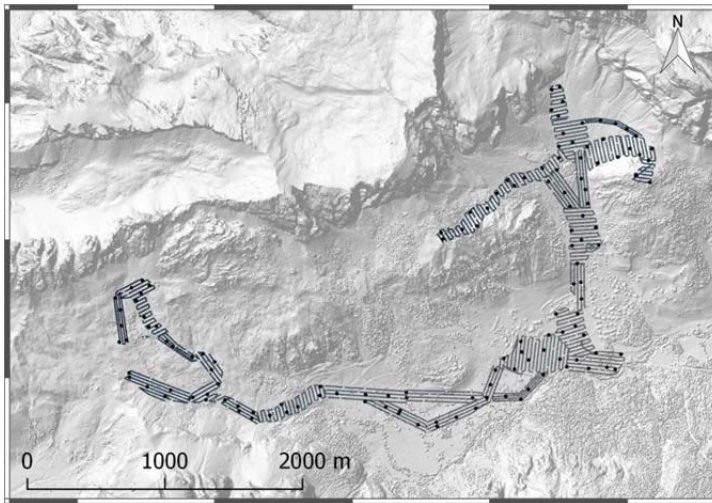


Abb. 2: Übersicht der Bildmitten und Passpunktverteilung für die Schigebietsbefliegung

2.3 Herausforderung Photogrammetrische Auswertung

Bei der photogrammetrischen Auswertung durch die REDcatch GmbH kam die Auswertesoftware Apero/MicMac, entwickelt von Marc Pierrot-Deseilligny am Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) in Frankreich, zum Einsatz. Es handelt sich um ein kommandozeilenbasierte Open-Source Software, für welche auch der Quellcode zur Verfügung steht.

Prinzipiell funktionieren moderne Photogrammetrie-Software alle ähnlich: Zunächst werden automatisiert Verknüpfungspunkte zwischen den Bildern berechnet und diese später räumlich in Relation gebracht. Kameraparameter werden dabei ebenso berechnet wie die Bildhauptpunkte und Orientierungsdaten. Aus der finalen Orientierung, bei welcher auch die Passpunkte mit eingebracht wurden, werden mittels Stereo- und Tripletmatchings 3D Koordinaten für jedes 2.te Pixel im Bild errechnet und als Punktwolke gespeichert.

Die Punktwolke für ein Schigebiet umfasst knapp 2 Mrd. Punkte und ist, durch den Öffnungswinkel der Kamera, voll dreidimensional. Das bedeutet, dass selbst Bereiche unterhalb von Dachvorsprüngen oder Baumkronen (soweit am Bild erkennbar) abgebildet werden.

2.4 DGM Extraktion

Die Punktwolkenklassifizierung in Boden und Nicht-Bodenpunkte erfolgte mit Basisalgorithmen der Software CloudCompare, welche anschließend manuell überprüft und verbessert wurde. Die Nacharbeitung umfasst vor allem Autos, Stützfundamente, Zäune und weidende Kühe.

2.5 Qualitätsanalyse & Datenaufbereitung

Das finale Produkt, ein 20 cm Raster des Geländemodells, wurde mit den 167 Passpunkten und 152 Kontrollpunkten analysiert. Erwähnenswert ist, dass die Kontrollpunkte von einem unabhängigen Vermesser zu Qualitätsüberprüfung aufgenommen worden sind.

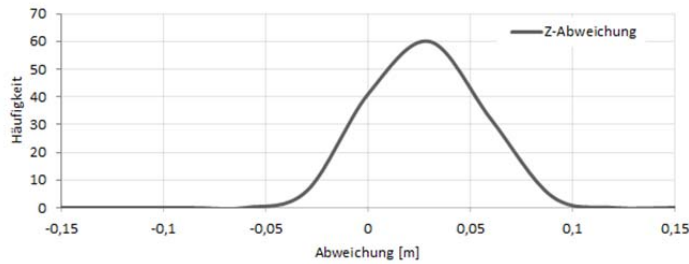


Abb. 3: Statistische Qualitätsüberprüfung des UAV Fluges mittels 219 Kontrollpunkten.

Die Abbildung zeigt eine Verschiebung der Normalverteilung um +0,04 m. Dies ist Zurückzuführen auf die GNSS Messung der Kontrollpunkte, welche mit einem Prismenstab durchgeführt wurde, durch das Eindringen in die Vegetationsschicht tiefer misst als photogrammetrische Verfahren. Ebenso misst die Photogrammetrie die Oberflächenelemente, z.B. Grashalme, die ebenfalls ein zu hohes Geländemodell wiedergeben.

Tabelle 1: Statistische Kenngrößen der Pass- und Kontrollpunktauswertung

Kenngröße	Wert
Mittelwert	+0,014
Schiefe	+0,04
Median	0,011
Standardabweichung	0,027
Maximum Wert	+0,074
Minimum Wert	-0,056

3 Inhaltsbestimmung von Speicherbecken für Wasserkraftwerke

Aus energiewirtschaftlicher Sicht ist es notwendig, in entsprechenden zeitlichen Abständen die Speicherinhalte von Stauanlagen neu zu bestimmen, da diese sich durch Sedimenteintrag kontinuierlich verringern. Üblicherweise wird dies im Zuge von Revisionsarbeiten an den Grundablässen mittels terrestrischer Messverfahren oder aufwändiger und weniger präzise durch Echolotmessungen im gefüllten Zustand durchgeführt.

Gefordert ist eine Genauigkeit der Inhaltsbestimmung von 3 ‰. Folglich muss eine Punkthöhengenaugigkeit von < 10 cm im gesamten Becken erreicht werden.

3.1 Herausforderung / Planung

Ähnlich den Skigebieten ist es auch bei entleerten Speicherseen notwendig die autonomen GNSS-gesteuerten Flüge dreidimensional zu planen um einen konstanten Abstand zwischen Objekt (=Boden) und Aufnahmeebene (=Kamera) zu erreichen. Hierzu kann aus alten Bestandsplänen oder vorherigen Vermessungen das Geländemodell des Unterwasserbereiches errechnet und mit dem Laserscanmodell des Landes zusammengefügt werden. Anhand dieses Gesamtmodells werden die Flugpläne gerechnet und jeder Flug später im Feld in den Autopiloten für den GNSS Wegpunktflug überspielt.

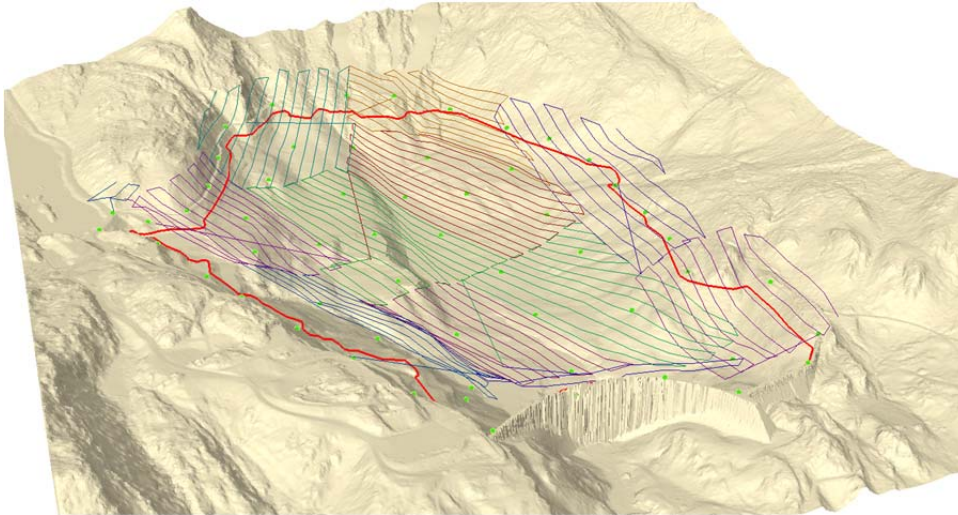


Abb. 4:

Übersicht der Flugplanung und der Passpunktpositionen für den Speichersee anhand des 3D-Modells

Etwas komplexer ist die Flugplanung für die Bogenstaumauer mit etwa 600 m Länge und 120 m Höhe. Einerseits muss die senkrechte Innenfläche mittels Schrägaufnahmen homogen erfasst werden, andererseits muss dieser Teil des Modells mit jenem des Seegrundes zusammengefügt werden.

Geplant wurde daher ein Seitwärtsflug des UAV Multikopters mit mehreren Streifen mit unterschiedlichen Neigungswinkeln der Kamera („tilt“) um die Nadiraufnahmen mit den Schrägaufnahmen matchen zu können. Außerdem wurde die Ausrichtung des Kopters („yaw“) während der Befliegung der Staumauer so angepasst, dass die Objektvlängsachse den Mauerverlauf möglichst senkrecht schneidet.

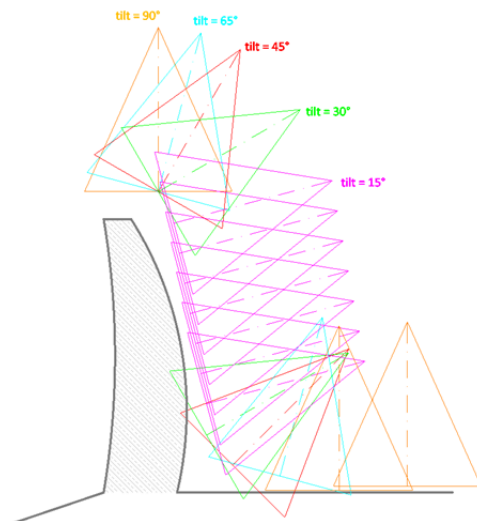


Abb. 5: Schnittdarstellung der doppelt gewölbten Staumauer inkl. schematischer Flugplanung

3.2 Durchführung

Mit einer gut durchdachten Flugplanung für autonome Flüge ist die praktische Durchführung ein Leichtes: Es ist ohne großen Aufwand möglich, die Daten für die photogrammetrische Auswertung von knapp 100 ha Fläche sowie der Staumauer an zwei Tagen vor Ort zu erzeugen. Insgesamt wurden in 5.485 Bilder mit einem Gesamtvolumen von knapp 160 GB erzeugt.

Außerdem wurden 65 Passpunkte terrestrisch vermessen und gut sichtbar vermarktet.

3.3 Herausforderung Photogrammetrische Auswertung

Für die moderne Photogrammetrie und sehr leistungsstarke Server (32 Kerne, 256 GB RAM, 2x Grafikkarte, SSD, etc.) ist es eine reine Zeitfrage die Bilder zu Orientieren und das Dense Matching durchzuführen.

Um jedoch die letzten Zentimeter Genauigkeit (auch weiter weg von den Passpunkten) zu erreichen, sind Eingriffe in die Default-Werte der Software notwendig. Dies zieht sich lt. Erfahrung der Autoren durch alle gängigen Softwarepakete, weshalb Erfahrung und ein kompetenter Dienstleistungspartner bei der Auswertung sehr nützlich sind.

Oblique Aufnahmetechniken bzw. Aufnahmestrategien bei welchen mehr als eine Hauptblickrichtung, z.B. Nadir und Schrägaufnahmen, zusammen in einer Orientierung verarbeitet werden, benötigen einen sehr viel höheren Rechenaufwand als reine Nadiraufnahmen. Dieser Mehraufwand an Zeit entsteht aufgrund der aufwändigeren Filterungen, notwendig durch den vermehrt auftretenden Hintergrund am Bild und die mehreren Durchdringungsebenen bei Objekten. Eine gute Orientierung zu berechnen wird sehr viel schwieriger, eine sehr gute Flugplanung ist deshalb essentiell. Das DenseMatching, sprich das Erzeugen der dichten Punktwolke, benötigt ca. 5 - 10x mehr Rechenzeit als dieselbe Anzahl Bilder Nadiraufnahmen. Berechnungszeiten von mehreren Tagen sind keine Seltenheit.

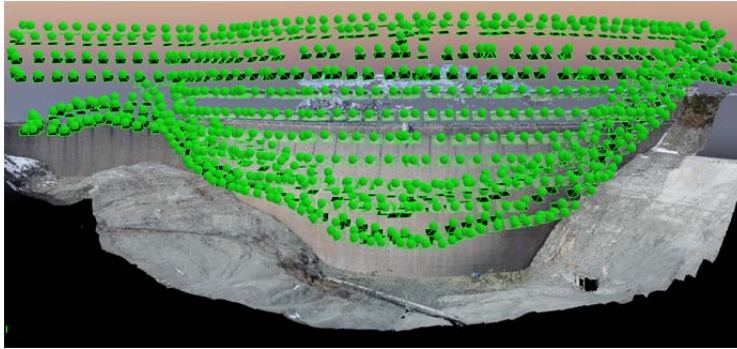


Abb. 5:
Übersicht der Bildzentren und Kameraausrichtung an der Staumauer

3.4 Inhaltsbestimmung

Die Berechnung des Wasservolumens erfolgt über eine numerische Integralrechnung in Trimble Realworks: Über ein vorgegebenes Raster mit einer frei wählbaren Maschenweite werden die jeweiligen Höhendifferenzen zwischen der vermessenen Punktwolke des Speicherbodens und dem gewünschten Pegel berechnet. Die Multiplikation mit der Grundfläche und anschließender Summierung dieser Quader ergibt das gesuchte Volumen.

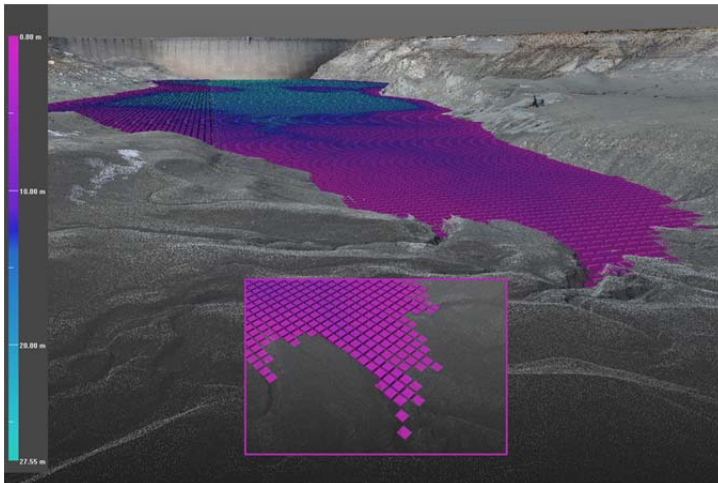


Abb. 6:
Grafische Darstellung der Integrationsquader für die Volumenberechnung

Der methodische Fehler wurde durch Berechnung des Volumens anhand unterschiedlich aufgelöster Punktwolken (10, 20 und 50 cm maximaler Punktabstand) mit diversen Integrationsrastern (10, 25, 50 und 100 cm) untersucht. Aufgrund dieser Variable wurde eine maximale Abweichung von 0,035% festgestellt.

Der Fehler aufgrund Modellungenauigkeiten kann vernachlässigt werden, da der Z-Fehler zwischen den gemessenen Passpunkten und dem Oberflächenmodell sich im Mittel aufhebt.

4 Schlussbetrachtung

Dank mehrerer innovationsfreudiger Kunden, allen voran den Vorarlberger Illwerken und deren Vermessungsabteilung, konnten insgesamt sechs große (> 100 ha Aufnahme­fläche) sowie mehrere mittlere (20-60 ha Aufnahme­fläche) Projekte zwischen September 2015 und Oktober 2016 durchgeführt werden. Auf Basis kritischer Analysen zur Genauigkeit und nicht zuletzt durch die stetige Verbesserung und dem Erfahrungsgewinn der Projektpartner, konnte bewiesen werden, dass UAV-Befliegungen auch bei großen Flächen sowohl den Genauigkeitsansprüchen als auch den wirtschaftlichen Möglichkeiten gerecht werden. Gerade im Flächenbereich ab 20 ha, wo eine terrestrische Vermessung zu aufwändig wäre, bis zu etwa 500 ha, dem unteren Limit der Wirtschaftlichkeit einer konventionellen Luftbildvermessung, sollte die Möglichkeit einer UAV-Befliegung in Betracht gezogen werden. Die Alto Drones GmbH mit Ihrer Erfahrung beim Einsatz von UAVs für schwierige Großprojekte, die REDcatch GmbH mit dem photogrammetrischen Auswerte-KnowHow und Equipment, kombiniert mit einer präzisen Vermessung der Passpunkte durch Vermes­ser/Vermessungsabteilungen, sowie die partnerschaftliche Zusammenarbeit mit den Auf­traggebern führten bei allen Projekten zum Erfolg und zur längerfristigen Zusammenarbeit.

Literatur

- AICARDI, I. ET AL. (2016): UAV Photogrammetry with oblique images: First analysis on data acquisition and processing. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic
- NEX, F. & REMONDINO, F. (2014): UAV for 3D mapping applications: a review In: Applied Geomatics 2014,6,1-15.
- REMONDINO, F. ET AL. (2014): State of the art in high density image matching. In: The Photogrammetric Record 29(146), 144–166. http://3dom.fbk.eu/sites/3dom.fbk.eu/files/pdf/Remondino_etal_PhotoRecord29-146.pdf (15.11.2016).
- ALTO DRONES GMBH (o. J.): Website UAV Planner 3D. <http://www.alto-drones.com/de/fotogrammetrie/uav-planner-3d.html> (19.11.2016).
- REDCATCH GMBH (o. J.): Seminarunterlagen zu Photogrammetrieseminar mit UAV. www.REDcatch.at/training (19.11.2016).