

Naturgefahrenmonitoring alpiner Prozesse aus multitemporalen UAV- und LIDAR-Daten – Erfahrungen im praktischen Einsatz



Hansjörg Ragg, Klaus Hanke, Innsbruck und Matthias Granig, Schwaz

Dieser Beitrag wurde als „reviewed paper“ angenommen.

Kurzfassung

UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) bieten mit hochauflösender Luftbildfotografie eine optimale Maßstabergänzung zwischen bewährten terrestrischen und luftgestützten Aufnahmemethoden. Der alpine Raum stellt mit starken Reliefunterschieden, schwieriger Topographie und oft unzugänglichen Flächen den Einsatz moderner Kopter- und Flächen-UAVs vor neue Herausforderungen. Erfahrungen beim Einsatz und der Auswertung von UAVs im Zusammenhang mit der Dokumentation von Naturgefahren werden anhand verschiedener Einsatzszenarien (Steinschlag, Holzeintrag in Wildbach, Volumensbestimmung eines Rückhaltebeckens) aufgezeigt und diskutiert.

Schlüsselwörter: Naturgefahren, UAV, Monitoring, multitemporal, alpiner Raum

Abstract

UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) with their potential for high-resolution aerial imaging proved to be an ideal complement to close the metrological gap between terrestrial (close-range) and airborne photogrammetric platforms. Alpine areas with their varying relief and complex topography also lead modern copters and plane UAVs into definitive challenges regarding unapproachable areas. Experiences with the flight operation and the evaluation of data for the documentation of natural hazards are shown and various mission scenarios (falling rocks, wood impact into mountain torrent, volume estimation of retention pool) are discussed.

Keywords: Natural hazards, UAV, monitoring, multi-temporal, alpine space

1. Einleitung/Problemstellung

Unbemannte Flugzeuge, sogenannte Drohnen oder Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) (Abbildung 1) dienen neben dem Einsatz in ursprünglich militärischen, polizeilichen Bereichen auch vermehrt zivilen Anwendungen [1, 2, 3, 4, 5]. Kostengünstig und rasch einsatzbereit dienen diese Flugobjekte zur Erfassung von Geodaten vor allem in kleinräumigen Gebieten, unter anderem im Katastrophenschutz und -management [6, 7]. Bestückt mit digitalen Kameras schließen sie die messtechnische Lücke zwischen terrestrischer (Nahbereichs-) Photogrammetrie und der klassischen Luftbildmessung. Damit vermeiden diese photogrammetrischen Plattformen sowohl das Problem der sichttoten Räume bei terrestrischen Standpunkten als auch die kleinen Bildmaßstäbe und vor allem hohe Kosten beim Einsatz von herkömmlichen Messflugzeugen [3]. Die UAV-Photogrammetrie stellt daher keine konkurrierende sondern eine, zu Nahbereichsphotogrammetrie und Luftbildmessung für

spezielle Anwendungen besonders geeignete, komplementäre Technologie dar. Eine detaillierte und grundlegende Einführung in die Thematik der UAVs liefert u.a. Eisenbeiss in [7].

Durch die verschiedenen Möglichkeiten, die Kamera am UAV zu montieren, werden nicht nur Senkrechtaufnahmen, sondern auch Schrägaufnahmen in fixen Winkeln sowie auch das fern ausgelöste oder vordefinierte Schwenken der Kamera während des Einsatzes möglich [8]. Die sich daraus ergebenden Bildverbände zeichnen sich durch eine hohe Überlappung und damit starke Redundanz der aufgenommenen Daten aus. Sind in der herkömmlichen Flugplanung Überlappungen von 60% in Längs- und 20% in Querrichtung üblich, so können aufgrund der geringen Flugkosten bei UAVs Überlappungen von 80% und mehr sowohl in Längs- als auch in Querrichtung realisiert werden [3, 4, 8, 9, 10]. Damit ergeben sich in Kombination mit neuen Auswertestrategien und Matching-Ansätzen [9,

10, 11, 12], in denen jeder Bildpunkt eines Fotos mit korrespondierenden Punkten in sämtlichen Nachbarbildern korreliert wird, einerseits ganz neue Herausforderungen an die Flugplanung und andererseits hochredundante und daher robuste Möglichkeiten zur Herstellung von digitalen Oberflächenmodellen und Orthophotos.

Ein weiterer Vorteil dieser Technologie liegt neben dem bereits erwähnten günstigen Kostenfaktor in der raschen und kurzfristigen Einsetzbarkeit der UAVs, was sie dadurch für Anwendungen im Katastrophenmanagement besonders prädestiniert [5, 13]. In der Folge können neben dem bloßen Bild als maßstabsfreie Informationsquelle für Interpretationen, innerhalb kurzer Zeit auch Auswertungen wie digitale Oberflächenmodelle (DOM) und digitale Orthophotos (DOP) generiert werden, um im Katastrophenfall als aktuelle Grundlage für politische Entscheidungsträger und Einsatzleiter von Rettung, Feuerwehr und anderen Einsatzkräften zu dienen.

Mit den Vermessungsdrohnen (UAVs) steht uns ein messtechnisches System zur Verfügung, das – sehr flexibel und mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung – zuverlässige Geodaten auch in schwer zugänglichen Gebieten und unter schwierigen Verhältnissen liefern kann. Diese Vorzüge sollen im Folgenden an praktischen Beispielen aus dem alpinen Raum verdeutlicht werden. In allen durchgeführten Projekten kamen Hexa- oder Oktokopter mit schwenkbaren Kamerasystemen, welche vorab mittels Testfeld kalibriert wurden, zum Einsatz.



Abb. 1: Hexakopter bestückt mit Ricoh-GXR Kamera. Flugzeit: 30 Minuten (Foto: GRID-IT)

2. Anwendungen aus der Praxis

2.1 Beurteilung und Dokumentation von Felssturzereignissen – Multitemporale Auswertung von UAV-Befliegungen

Problemstellung / Ausgangssituation

Die Beurteilung, Dokumentation und Überwachung von Sturzprozessen im Gebirge stellt, besonders wenn Siedlungen und Infrastruktur gefährdet sind, eine große Herausforderung dar. Die notwendige rasche Entscheidungsfindung nach Ereignissen basiert meist auf Erkenntnissen von örtlichen Begehungen der Experten und leider oft auch auf veralteten Datengrundlagen. Begehungen sind im Katastrophenfall durch die akute Gefährdung oftmals nicht durchführbar, weshalb die Gefahrenbeurteilung erheblich erschwert wird.



Abb. 2: UAV-Luftbilddokumentation des Felssturzereignisses im Oktober 2012. Ein Fels (mit Pfeil gekennzeichnet) markiert die beim Sturz verursachte Waldschneise.

Im aufgezeigten Anwendungsfall wurden nach dem Abbruch eines etwa 30 m^3 großen Felsens Risse im darüber liegenden Hang entdeckt, die als Hinweis auf ein künftig mögliches größeres Ereignis zu beurteilen waren. Der Interessensbereich befindet sich ca. 350m oberhalb einer Siedlung an einer ca. 35° steilen Bergflanke und durfte aufgrund der akuten Gefährdung großflächig nicht betreten werden [13]. Der Fels (in Abbildung 2 mit Pfeil markiert) schlug eine Schneise durch den Wald und kam kurz vor der Siedlung, am Gegenhang des Bachbetts, zum Stillstand. Die Dokumentation dieser Situation und eine Rekonstruktion zur Durchführung einer Veränderungsanalyse sollte im Bereich der Abbruchstelle auf Basis multitemporaler UAV Luftbildphotogrammetrie durchgeführt werden.

Durchführung

Der beinahe senkrechte Felsvorsprung, sowie die zu überwindende Höheunterschiede stellten die größte Herausforderung an die UAV-Kampagne dar. Die Festlegung der Flugroute erfolgte unter Berücksichtigung des vom Land Tirol zur Verfügung gestellten LIDAR-Oberflächenmodells und verlief nahezu hangparallel in einer Höhe von 80m über Grund (Abb. 3). Einzelne Flugstreifen in verschiedenen Höhenstufen direkt über der Ausbruchsregion sollten eine photogrammetrische Stereoauswertung ermöglichen.

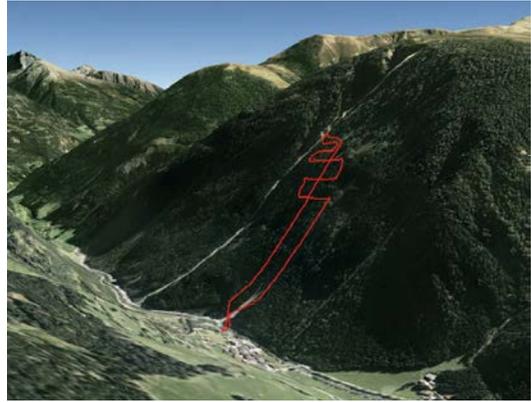


Abb. 3: Flugroute des photogrammetrischem Bildflugs zur 3D Rekonstruktion der Ausbruchregion

Die Überlappung wurde auf 80% Längs- und Querüberdeckung festgelegt, was einer Aufnahmebasis von ca. 18m entspricht. Um die geforderte Bodenauflösung $< 2\text{ cm}$ zu erzielen wurde eine Kamera des Typs Ricoh GXR mit 33mm Brennweite eingesetzt. Die Kamera war am Kopter schwenkbar montiert, wodurch selbst im steilen Gelände eine annähernd orthogonale Ausrichtung zum Hang und somit konstante Bodenauflösung gewährleistet werden kann. Aufgrund des strikten Betretungsverbots konnten keine Passpunkte terrestrisch eingemessen aber



Abb. 4: Das Kluftsystem oberhalb des Felsabsatzes

eine näherungsweise Georeferenzierung des Bildverbandes [14, 15] aus den aufgezeichneten Positionsdaten des Kopters erzielt werden. In einem weiteren Schritt wurde durch Transformation auf das bestehenden LIDAR Oberflächenmodell die absolute Lage auf ± 1 m verbessert.

Ergebnisse

Eine Interpretation der UAV-Luftbilder konnte durch die Geologen unmittelbar nach der Landung durchgeführt werden. Die in Abbildung 4 dargestellten Klüfte (manuell schematisch eingezeichnet) oberhalb der Abbruchstelle sind deutlich zu sehen und müssen künftig in regelmäßigen Abständen beobachtet werden. Weiten sich die ca. 30 cm breiten Risse, besteht die Gefahr eines Ereignisses, dessen Volumen deutlich größer als die bisherigen Vorboten sein könnte und damit auch Infrastruktur und Siedlung betreffen kann.

Die photogrammetrische Auswertung erfolgte mit der vom IGN France entwickelten OpenSource Software APERO/MICMAC [17, 18]. Im Zuge der Aerotriangulation wurden Abweichungen der inneren Orientierung zur vorausgegangenen Kamerakalibrierung festgestellt, die vermutlich durch Außentemperaturen um den Gefrierpunkt hervorgerufen wurden. Um dem entgegenzuwirken, wurden zusätzliche Passpunkte aus dem existierenden LIDAR Oberflächenmodell extrahiert und in den Auswerteprozess eingeführt. Die

Bildweite der Kamera konnte im Bündelblockausgleich als freier Parameter eingeführt und die innere Orientierung optimiert werden. Abbildung 5 stellt die mittels „Dense Matching“ [9] aus 29 Luftbildern automatisch abgeleitete texturierte Punktwolke dar. Als Hintergrund ist der 1 m aufgelöste Laserscan des Landes Tirols dargestellt. Die photogrammetrische Punktwolke weist eine Dichte von ca. 1000 Punkte/m² auf, wobei zwischen Bewuchs und freiem Gelände hinsichtlich Genauigkeitserwartungen unterschieden werden muss. Das für die Aufgabenstellung interessante Fels- und Wiesengelände konnte mit einem sehr hohen Detailgrad rekonstruiert und so für weitere Analysen herangezogen werden. Regionen mit starkem Bewuchs wurden unzureichend dicht und nur mit hohen Unsicherheiten („Rauschen“) abgeleitet und deshalb von der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

Der zwei Wochen später stattfindende Zweitflug wurde relativ zum ersten Bildflug georeferenziert, um die multitemporale Analyse zu gewährleisten. Hierzu wurden aus der Punktwolke des Erstflugs 10 Punkte ausgewählt und als Passpunkte für die photogrammetrische Auswertung des Zweitfluges herangezogen. Die Veränderungsdetektion wurde im GIS System mittels der multitemporalen Orthophotos durchgeführt, indem die Klüfte manuell digitalisiert, bemaßt und von den Experten interpretiert wurden. Eine dreidimensionale Veränderungsanalyse auf Basis der

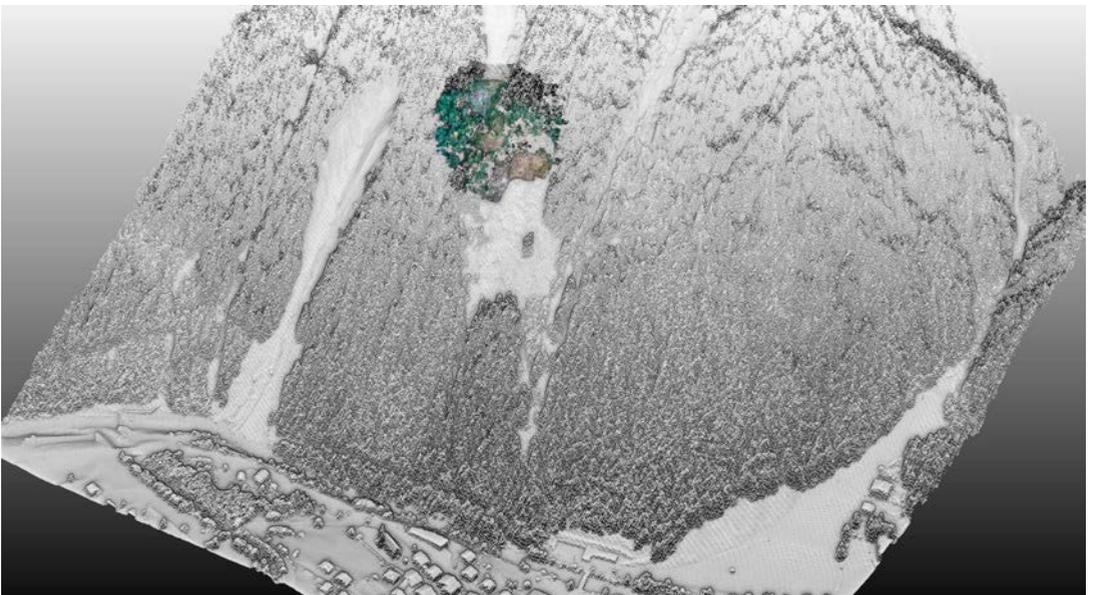


Abb. 5: Perspektivische Ansicht der LIDAR- (grau) und der photogrammetrisch abgeleiteten UAV Punktwolke (farbig)

multitemporalen Punktwolken aus MICMAC brachte dagegen nur unzureichende Ergebnisse für eine Beurteilung. Die Bewegungsraten waren mit unter 5 cm in der Größenordnung des „Rauschens“ der Punktwolke und sind deshalb nicht aussagekräftig.

Das Fallbeispiel demonstriert die bereits weit entwickelte UAV Technologie und deren Einsatzmöglichkeiten im Gebirge, speziell im Bereich der Naturgefahrenokumentation und -überwachung. Gerade bei Wiederholungsflügen vermindert sich der Aufwand für die Flugplanung und kann so zeitnah und kostengünstig durchgeführt werden. Besondere Anforderungen werden hinsichtlich Überlappung, Drehwinkel (Verkipfung der Kamera) und zu erreichende Bodenauflösung im Vergleich zur klassischen Luftbildphotogrammetrie an die UAV Aufnahmen gestellt. Dies ist bei der Flugplanung, im Sinne einer optimalen Kameraausrichtung orthogonal zum Böschungswinkel und der zu erzielenden Bodenauflösung, sowie im Auswerteprozess bei der Auswahl der Softwarekomponenten zu berücksichtigen.

2.2 Retentionsbecken Bachertal – Analyse in Verbindung mit Laserscandaten

Problemstellung/Ausgangssituation

Das Bachertal befindet sich im Gemeindegebiet von Neustift im Stubai und wurde vor allem wegen der gleichnamigen Lawine, welche zuletzt im Jahre 1951 bis zum Ortskern vordrang, bekannt. Die in den 1950er Jahren errichtete Anrissverbauung zum Schutz der Siedlung wurde zuletzt durch den Bau eines Retentionsbeckens oberhalb des Ortsgebiets ergänzt. Diese Maßnahme diente einerseits dazu, dem wachsenden Siedlungsdruck gerecht zu werden und zum anderen, dem erhöhten Bedürfnis der Bevölkerung nach Schutz zu genügen.

Durchführung

Um flächige Aussagen über Setzungen des Aufschüttungsgeländes, den Vegetationszuwachs im Becken und bauliche (Massen-)Veränderungen im direkten Einflussbereich des Beckens zu ermöglichen, wurde das Gebiet im Juli 2012 mit einem TWIN-HEX-Kopter (Abbildung 1) photogrammetrisch aufgenommen. Die Befliegung wurde mit einer Ricoh GXR Kamera durchgeführt, mit dem Ziel ein 5 cm Oberflächenmodell des Gebiets zu erstellen. Auf Basis einer Differenzanalyse zwischen dem UAV Oberflächenmodell und der LiDAR-Landesaufnahme aus dem Jahr 2006 sollten Höhenänderungen im Dezimeterbereich detektiert werden.

Aufgrund des stark ansteigenden Reliefs und des hohen Fichtenbewuchses erwies sich vor allem der taleinwärts gelegene Teil des Beckens aufgrund der Enge und des damit resultierenden geringen Manövrierplatzes als schwierig für die Flugplanung. Die Ricoh GXR Kamera wurde mit einem 18mm Objektiv ausgestattet, um durch den relativ großen Öffnungswinkel die erfasste Aufnahmefläche insgesamt über die eigentliche Flugstrecke hinaus zu erweitern. Durch die in der GRID-Flightmanager Software durchgeführte Kollisionsprüfung konnte auf Basis des vom Land Tirol zur Verfügung gestellten Oberflächenmodells der Flugpfad sicher gestaltet werden. In Abbildung 6 ist der manuell definierte Flugweg (schwarz) inklusive Kamera-Auslösepunkte (gelb) dargestellt. Die relativen Flughöhen werden als Färbung des Orthophotos dargestellt und unterstützen so die Flugplanung. Die rot eingefärbten Gebiete stellen die Kollisionszonen dar, wohingegen orange und gelb jeweils mit 10 m bzw. 20 m den Mindestabstand visualisieren.

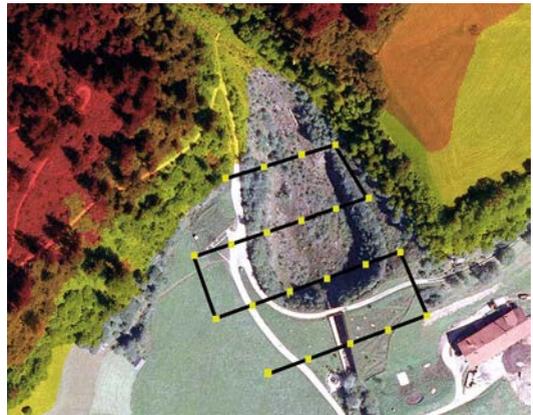


Abb. 6: Flugplan mit vordefinierten Auslösepunkten. Im Hintergrund farbig (rot, orange, gelb) hinterlegt die Kollisions- bzw. Hinderniswarnungen des Flugpfades.

Aus einer Höhe von ca. 80m über Grund wurden in einem rund 6 Minuten dauernden Flug 21 Luftbilder aufgenommen. Die Kombination aus Kameraparametern und Flughöhe ließ eine Bodenauflösung von 4cm erwarten. Um die Genauigkeitsanforderungen zu erfüllen, wurden 6 Passpunkte tachymetrisch vermessen und in den Auswerteprozess eingeführt.

Ergebnisse

Die photogrammetrische Auswertung erfolgte mit dem Open Source Paket APERO/MICMAC [17, 18]. Die Ergebnisse der Triangulation weisen eine Standardabweichung der Passpunktkoordinaten von < 4 cm in der XY und < 6 cm in der Höhe auf. Nachfolgend wurde ein Dens-

Matching mit MICMAC durchgeführt und so eine fototexturierte, dreidimensionale Punktwolke (Abbildung 7) mit einem mittleren räumlichen Punktabstand von 3cm erzeugt, welche in einem weiteren Schritt zu einem „True-Orthophoto“ und einem gerasterten Oberflächenmodell mit 5cm Rasterweite verarbeitet wurde. Die hohe Auflösung, sowie gut erkennbare Strukturen aller Oberflächenelemente erlauben dem densmatching Algorithmus eine gute Pixelkorrelation jeglicher Oberflächen. Besonders hervorzuheben ist hier die gute Oberflächenrekonstruktion bei vorhandenen Vegetationselementen.

Mithilfe der Ergebnisse der Höhendifferenzen (Abbildung 8) zwischen dem 2006 aufgenommenen LIDAR Oberflächenmodell und dem aktuellen UAV-Modell ließen sich Antworten auf die geforderten Aufgabenstellungen ableiten. Im 6-jährigen Zeitraum zwischen den Aufnahmen konnte eine maximale Höhenänderung der Vegetation im Becken von 5m festgestellt werden. Desweiteren konnte die Giebelhöhe des neu errichteten Wirtschaftsgebäudes auf der orographisch links liegenden Terrasse mit 3,6m bestimmt werden. Die Quantifizierung von Volumina konnte auch für die Erdbewegungen im Zuge der Böschungsschüttung vor dem Wirtschaftsgebäude durchgeführt werden. Hierbei entspricht das abgetragene Volumen (blau) bis auf 4% jenem der Aufschüttung auf der Terrassenfront (rot). Jegliche Volumensänderungen sind durch manuelles abgrenzen/digitalisieren im Differenzmodell einfach und rasch zu erledigen. Großflächigere Setzungen im Wiesenbereich südlich des Beckens konnten nicht festgestellt werden.

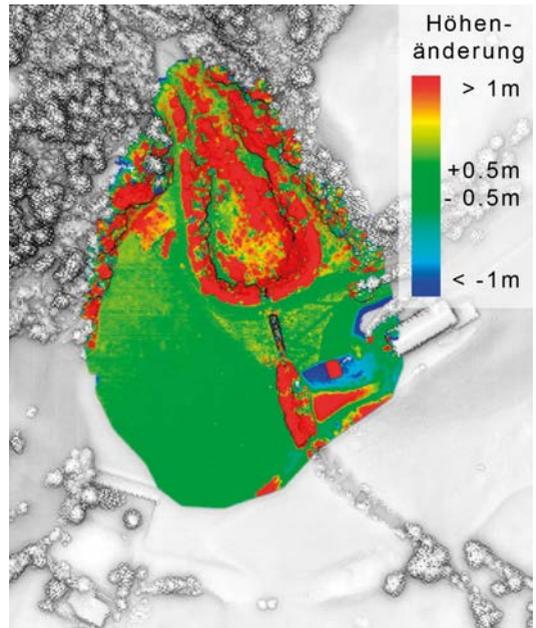


Abb. 8: Höhendifferenzen zwischen LIDAR- und UAV-Punktwolke. Rot stellt den Zuwachs >1m, blau die Abnahme <-1m dar

Der skizzierte UAV Anwendungsfall zeigt die Möglichkeiten der flächenhaften Aufnahme von Schutzbauwerken und exemplarisch mögliche Analysen auf. Hervorzuheben ist vor allem der geringe Zeitbedarf (ca. ½ Tag) und die Möglichkeit zusätzlich das umgebende Gebiet zu erfassen. Der dargestellte Ablauf kann vielfältig für die dreidimensionale Dokumentation und Veränderungsanalyse im Bereich Schutzbauwerke gegen Lawinen, Muren, Hochwasser etc. angewandt werden.

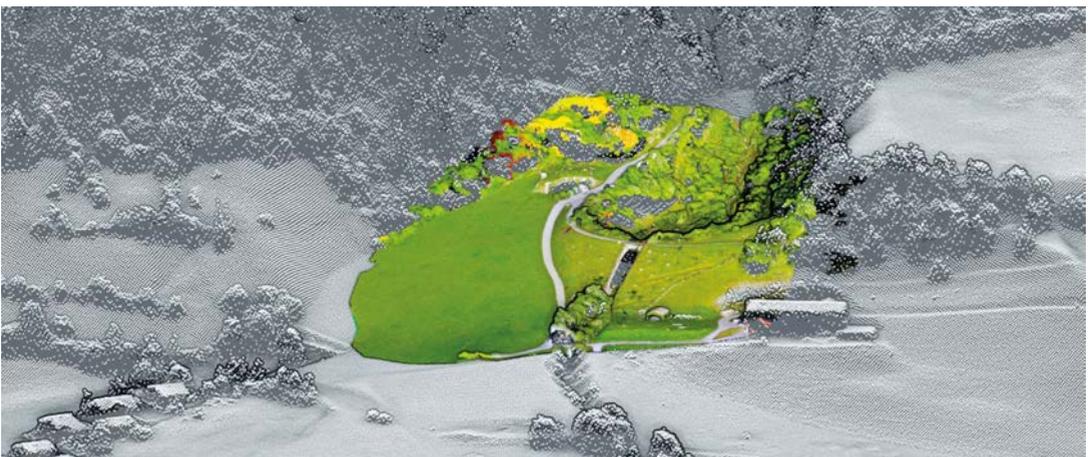


Abb. 7: Perspektivische Ansicht der photogrammetrisch abgeleiteten 3D Punktwolke mit einem mittleren Punktabstand von 4 cm

2.3 Beurteilung des Verklauungspotentials durch Totholzeintrag im Einzugsgebiet von Wildbächen

Problemstellung

Eine Verklauung von Wildbächen durch Totholz kann das Aufstauen und ein Ansteigen der Sohle zur Folge haben. Ein möglicher Durchbruch der Verklauung wiederum kann zu einem Murenabgang führen und stellt somit eine Bedrohung für Mensch und Infrastruktur dar [19]. Vor allem die durch die Gewässerdynamik verursachte Erosion, sowie Hangrutschungen an den Flanken können den Holzeintrag auslösen. An exponierten Stellen kommen desweiteren auch Wind- und Schneebruch als Verursacher hinzu [16].

Zu deren Vermeidung wurde auf Gemeindeebene die sogenannte Wildbachbegehung eingerichtet, welche im §101 Abs. 6 und 7 des Forstgesetzes geregelt ist. Aufgrund der häufig vorliegenden Unzugänglichkeit dieser Gebiete kann dieses gesetzlich vorgeschriebene Vorgehen jedoch eine massive Gefährdung für die beauftragte Person darstellen. Aus diesem Grund wurde die Eignung von UAV-Koptern als Aufnahme- und Dokumentationsmethode für nicht zugängliche und schwer einsehbare Wildbäche im alpinen Raum erprobt und die verschiedenen Prozessierungsstadien der erhobenen Daten (Luftbild, Orthophoto, Oberflächenmodell) anschließend auf deren Eignung zur Erfüllung des Auftrags des Forstgesetzes überprüft.

Durchführung

Aufgrund der vorwiegend engen Talgeometrie kam für die Befliegung ein Hexakopter mit

schwenkbarer Kamera zum Einsatz. Der Kopter wurde mit einer Ricoh GXR Kamera mit einem 33mm Objektiv bestückt, wodurch im Vergleich zu dem in 2.1 und 2.2 genannten Anwendungsfällen mit größeren Flughöhen gearbeitet und dennoch eine hohe Bodenauflösung gewährleistet werden konnte. Entscheidende Kriterien bei der Flugplanung waren die Auswahl eines geeigneten Start- und Landeplatzes mit möglichst ungehinderter Sicht auf den fliegenden Kopter und die reliefbedingt schwierige Definition der durch große Höhenunterschiede schwierigen Flugroute. Die reliefbedingten Einschränkungen des GPS Empfangs erschwerten zusätzlich die Durchführung des autonomen Fluges. Der technisch und rechtlich limitierte Operationsradius erforderte die Einrichtung getrennter Flugbereiche für jeden Wildbachabschnitt. Jeder dieser Bereiche wurde in zwei Flugstreifen (Hin- und Rückflug) und einer Überlappung von ca. 80% aufgenommen.

Ergebnisse

Die visuelle Beurteilung der originalen UAV Luftbilddaufnahmen durch Experten, ohne weitere photogrammetrische Auswertung, erwies sich in diesem Stadium als zielführend. Durch die niederen Flughöhen konnten Bodenauflösungen zwischen 3 und 10 cm erzielt werden. Bereits aus diesen Luftbildern kann ein Gefährdungszustand in terrestrisch nicht einsehbaren Bereichen erkannt und ein möglicher Handlungsbedarf abgeleitet werden. Der Vorteil liegt in der Verortung von Gefahrenstellen, basierend auf den Auslösepunkten der einzelnen Luftbilder, welche aus den GPS Daten des UAV extrahiert wurden. Orthophotomosaiken erwiesen sich durch ihre



Abb. 9: Durch eine Hangrutschung bedingter Eintrag von Totholz. Im Vergleich, links das Orthophoto aus 09/2010 © Land Tirol und rechts, derselbe Ausschnitt für das Luftbild der UAV-Kampagne 08/2012 mit einer Bodenauflösung von 3 cm.

Größe und die notwendige Software/Viewer nur als zweitbeste Wahl, die Prozessierung zu einer 3D Punktwolke war zu aufwändig und für die Aufgabenstellung nicht rentabel. Aus diesen Gründen wurde auf georeferenzierten Einzel-Luftbilder zurückgegriffen, welche die Lage einer Verklauung oder sonstigen Gefahrenstelle ausreichend verortet interpretieren lassen, sodass vom Büro aus der Handlungsbedarf gezielt festgelegt und geplant werden kann. In einem weiteren Schritt ist angedacht, die Luftbilder künftig als WMS Dienst bereitzustellen. Eine Entkopplung zwischen UAV-Team und Waldexperten wäre so möglich und vor allem bei Wiederholungsflügen erstrebenswert.

Einen Spezialfall stellen Untersuchungen von Hangrutschungen dar, für welche selektiert Orthophotos abgeleitet werden, um die Veränderungen festzustellen. Hangbewegungen an den Seitenflanken von Bächen lassen sich auf diese Weise per UAV sehr gut dokumentieren und einen eventuell notwendigen Handlungsbedarf ableiten. Abbildung 9 stellt für eine solche Rutschung die Situation der Jahre 2010 und 2012 gegenüber. Die wesentlich höhere Bodenauflösung, die optimaleren Licht/Schatten-Verhältnisse bei niederen Flughöhen sowie die Möglichkeit kürzere Dokumentationsintervalle zu realisieren, prädestinieren UAV-Befliegungen als Instrument für das Monitoring von durch diese Hangrutschungen ausgelösten Holzeintrag.

Abbildung 10 zeigt ein Beispiel von Holzmassen, welche durch die Erosion der Gewässerdynamik in das Bachbett eingetragen wurden und so ein potentiell Transportgut mit der dazugehörigen Verklauungsgefahr darstellen. Aus diesen UAV Aufnahmen ist durch Experten die Abgrenzung und Verortung von Schadholz von Holz möglich, welches wirtschaftlich in Wert gesetzt werden kann. Weitere Schritte zu dessen



Abb. 10: Totholzeintrag in das Bachbett als Folge von Seitenerosion aufgrund der Gewässerdynamik

Beseitigung können mit den generierten Daten festgelegt und einleitet werden.

3. Ausblick

Gerade im Bereich der Ereignisdokumentation von Muren, Lawinen und Felsstürzen können UAV-Bilder und die daraus resultierenden Geodaten als Basis für Entscheidungen, zur Dokumentation und zur Maßnahmenplanung herangezogen werden. War man bisher auf Flugzeug und Hubschrauberflüge angewiesen, welche kostspielig und nur bei Großereignissen zu rechtfertigen sind, können die UAV-Fluggeräte hingegen zeitnah und kostengünstig eingesetzt werden. Beim Prozessierungsgrad müssen zwei Stadien unterschieden werden. Einerseits die direkte Interpretation der Luftbilder, welche sofort nach der Landung mittels GPS grob verortet und interpretiert werden können und andererseits die weiterführende photogrammetrische Auswertung zu Oberflächenmodellen und Orthophotos. Verortete Luftbilder sind für viele Fragestellungen im Naturgefahrenmanagement bereits ausreichend und können kostengünstig und zeitnah erstellt werden. Die photogrammetrische Auswertung hingegen benötigt Zeit und bedeutet dadurch einen Mehraufwand, welcher sich vor allem für geometrische Fragestellungen, wie Volumbestimmungen und räumliche Veränderungsanalysen, lohnt.

Die multitemporale Schadensdokumentation und -analyse von gefährdeten Bereichen sowie die gemeinsame Verwendung von LiDAR und UAV Oberflächenmodellen wurden im vorliegenden Beitrag aus praktischer Sicht dargestellt. Damit ist ein effizienter und kostengünstiger Einsatz von UAV Technologie im Bereich der Erfassung von Geodaten vor allem in kleinräumigen Gebieten möglich.

Künftig sollen UAVs auch bei exponierten und/oder schwer zugänglichen Baustellen für Vermessungsaufgaben und zur Dokumentation des Baufortschrittes eingesetzt werden. Im Bereich des Lawinenschutzes der Wildbach- und Lawinerverbauung bestehen Bestrebungen den Grad der Verfüllung von Stützverbauungen in Anbruchgebieten oder auch die Überschneidung der Lawinenwerke flächig zu erheben, um den aktuellen Schutzgrad der Maßnahmen feststellen zu können. Desweiteren eignen sich die hochauflösenden UAV Oberflächenmodelle im Bereich der Modellierung von Naturgefahrenprozessen als aktuelle Grundlage für numerische Simulationenläufe.

Danksagung

Die Autoren danken dem Land Tirol für die Überlassung der LIDAR Daten sowie der Vereinigung der Waldaufseher und Forstwirte Tirols und den MitarbeiterInnen der Landesgeologie Tirol für die fachliche Interpretation der Luftaufnahmen.

Referenzen

- [1] *Eisenbeiss, H. & Sauerbier, M. (2011):* Investigations of UAV systems and flight modes for photogrammetric applications. In: *The Photogrammetric Record* 26, 400-421.
- [2] *Gülch E., 2011,* Photogrammetric evaluation of multi-temporal fixed wing UAV imagery. *ISPRS Archives, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g 2011, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland.*
- [3] *Haala, N., Cramer, M., Weimer, F. and Trittler, M., 2011.* Performance Test on UAV-based data collection. *Proc. of the International Conf. on UAV in Geomatics. IAPRS, Volume XXXVIII-1/C22, 2011.*
- [4] *Abdel-Wahab, M., Wenzel, K. & Fritsch D., 2011.* Reconstruction of Orientation and Geometry from large Unordered Datasets for Low Cost Applications. *Proceedings LC3D Workshop, Berlin, December 2011*
- [5] *Insu, Lee , Jihun, Kang , Gabsoo, Seo, 2012.* Applicability analysis of Ultra-Light UAV for flooding site survey in South Korea. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W1, ISPRS Hannover Workshop 2013, 21 – 24 May 2013, Hannover, Germany*
- [6] *Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., Sarazzi, D., 2011.* UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling — Current status and future perspectives. *ISPRS Archives, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g 2011, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland*
- [7] *Eisenbeiss, H., 2009.* UAV Photogrammetry. Dissertation Nr. 18515, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zürich, Switzerland, Mitteilungen Nr.105.
- [8] *Grenzdörffer G., Niemeyer F., Schmidt F., 2012.* Development of Four Vision Camera System for a Micro-UAV. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B1, 2012. XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia*
- [9] *Haala, N. (2011):* Multiray Photogrammetry and Dense Image Matching – In: *Fritsch, D. (2011):* Photogrammetrische Woche 2011, Stuttgart, Deutschland.
- [10] *Arnold Irschara, Markus Rumpler, Philipp Meixner, Thomas Pock and Horst Bischof,* Efficient and Globally Optimal Multi View Dense Matching for Aerial Images. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume I-3, 2012 XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia*
- [11] *Pollefeys, M., Vergauwen, M. and Van Gool, L., 2000.* Automatic 3D Modeling from Image Sequences. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII B5/2, pp. 619–626.*
- [12] *Photomodeler Scanner," EOS, [Online]. Available: http://www.photomodeler.com. [Zugriff am März 2012].*
- [13] *Ragg H., Hanke K., Jörg P., Kleindienst H. und Granig M., „Erfahrungen beim Einsatz photogrammetrisch kalibrierter UAVs bei Naturgefahren im alpinen Gelände,“ In: Hanke, K. und Weinold T. (Hrsg.): 17. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2013, Wichmann, 2013, pp. 271-274.*
- [14] *Pfeifer N., Glira P. und Briese C., „Direct Georeferencing with on Board Navigation Components of Light Weight UAV Platforms,“ in s International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXIX-B7, 2012, pp. 487-492.*
- [15] *Blaha, M., Eisenbeiss, H., Grimm, D. and Limpach, P., 2011.* Direct georeferencing of UAVs. In: *ISPRS Archives, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g 2011, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland*
- [16] *Bundesamt für Umwelt, „Totholz in Fließgewässern – BAFU,“ [Online]. Available: www.bafu.admin.ch/landschaft*
- [17] *Pierrot-Deseilligny M. und Clery I., „An Open Source Bundle Adjustment Software for Automatic Calibration and Orientation of Set of Images,“ IAPRS&SIS, Vol. 38(5/W16), 2011.*
- [18] *Pierrot-Deseilligny M. und Paparoditis N., „A multiresolution and optimization-based image matching approach: An application to surface reconstruction from SPOT5-HRS stereo imagery,“ International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. 36 (Part 1/W41), 2006.*
- [19] *„Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT“, Schweizer Eidgenossenschaft, [Online]. Available: http://www.planat.ch/de/wissen/ueberschwemmung/verklausung/. [Zugriff am 14 März 2013].*

Anschrift der Autoren

Ing. Hansjörg Ragg, MSc., GRID-IT, Gesellschaft für angewandte Geoinformatik mbH, Technikerstr. 21a, A-6020 Innsbruck.

E-Mail: ragg@grid-it.at

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Klaus Hanke, Leiter des Arbeitsbereichs Vermessung und Geoinformation, Universität Innsbruck, Technikerstrasse 13, A-6020 Innsbruck.

E-Mail: klaus.hanke@uibk.ac.at

Dipl.-Ing. Matthias Granig, Leiter der Stabsstelle für Schnee und Lawinen, Wildbach- und Lawinenverbauung, Swarovskistraße 22a, A-6130 Schwaz.

E-Mail: matthias.granig@die-wildbach.at