Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und Landmanagement

Band: 113 (2015)

Heft: 9

Artikel: Geodatenerfassung im hochalpinen Gelände mittels Drohnen

Autor: Bühler, Yves / Bösch, Ruedi / Stoffel, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-513923

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Geodatenerfassung im hochalpinen Gelände mittels Drohnen

Y. Bühler, R. Bösch, A. Stoffel, M. Adams

Drohnen (Unmanned Aerial Vehicle UAV oder Remotely Piloted Airborne Systems RPAS) sind heute bereits beinahe in jedem Supermarkt erhältlich und Nachrichten über zukünftige Einsatzmöglichkeiten der fliegenden Miniroboter stehen fast täglich in der Zeitung. Die Vorteile von UAV liegen auf der Hand: günstig, rasch und flexibel einsetzbar, einfach zu fliegen, hohe räumliche Auflösung, präzise Orthofotos und Oberflächenmodelle. Gilt das aber auch für hochalpines, komplexes Gelände? Für die Erfassung von Anrissgebieten von Lawinen, Murgängen oder Steinschlägen müssen sehr steile Gebiete (> 30°) beflogen werden, welche oft aus Sicherheitsgründen nicht direkt begangen werden können. Aus räumlich hochaufgelösten Luftbildern (Ground Sampling Distance GSD im Zentimeterbereich) können Oberflächenmodelle mit einer Auflösung im Subdezimeterbereich berechnet werden. Anhand von wenigen Passpunkten, welche mit differentiellem GNSS terrestrisch eingemessen werden, können die Luftbilder absolut orientiert werden. In diesem Beitrag präsentieren wir erste Erfahrungen und Resultate aus Experimenten mit UAVs im hochalpinen Gelände und diskutieren das Potenzial und die Grenzen solcher Systeme.

Les drones (Unmanned Aerial Vehicle UAV ou Remotely Piloted Airborne Systems RPAS) sont aujourd'hui disponibles dans presque tous les supermarchés; dans les journaux nous lisons presque tous les jours quelles sont les futures possibilités d'utilisation des minirobots volants. Les avantages des UAV sont évidents: bon marché, mise en œuvre rapide et flexible, simple à piloter, grande résolution spatiale, orthophotos précises et modèles de surface. Est-ce aussi le cas pour des surfaces complexes dans les hautes Alpes? Pour la saisie d'endroits de décrochement d'avalanches, de glissements de terrain ou de chutes de pierres on doit survoler des terrains de très fortes pentes (> 30°) qui ne sont souvent pas accessibles pour des raisons de sécurité. A partir d'images Nadir à haute résolution (Ground Sampling Distance GSD dans la fourchette du cm) on peut calculer des modèles de surface avec une résolution en dessous du décimètre. A l'aide de quelques points d'ajustage qu'on peut mesurer avec un GPS terrestre différentiel il est possible d'orienter les images aériennes de façon absolue. Dans cet article nous présentons les premiers expériences et résultats d'essais avec des UAV en haute montagne et évaluons le potentiel et les limites de tels systèmes.

Oggi i droni (Unmanned Aerial Vehicle UAV o Remotely Piloted Airborne Systems RPAS) sono acquistabili praticamente in ogni supermercato e la stampa riporta quasi ogni giorno degli articoli sull'impiego futuro di questi mini-robot volanti. I vantaggi degli UAV sono tangibili: convenienza, rapidità e flessibilità d'utilizzo, facilità di volo, grande risoluzione spaziale, precise ortofoto e modelli della superficie. Ma questi presupposti sono validi anche per il territorio alpino, con tutta la sua complessità? Per il rilevamento delle aree con distacco di valanghe, frane di disgregazione o caduta di massi è necessario sorvolare delle zone con forti pendenze (> 30°) che, per motivi di sicurezza, spesso non sono accessibili. Dalle foto nadir ad alta risoluzione (Ground Sampling Distance GSD con una precisione nell'ambito del centimetro) si è in grado di calcolare i modelli della superficie con una risoluzione nell'ambito del sub decimetro. Partendo da pochi punti d'appoggio, che sono stati misurati da terra con un GPS differenziale, è possibile orientare completamente le riprese aeree. In quest'articolo si presentano le prime esperienze e i primi risultati degli esperimenti fatti con gli UAV nel territorio alpino e si discutono il potenziale e i limiti di questi sistemi.

Drohnen

Grundsätzlich lassen sich UAVs in zwei Typen unterteilen: Systeme mit Starrflügel (fixed-wing) und Systeme mit Rotoren (copter). Systeme mit Flügel haben den Vorteil, dass sie deutlich weniger Energie für den Auftrieb verbrauchen und deshalb länger in der Luft bleiben können. Dafür sind sie anfälliger für Wind und brauchen grössere ebene Flächen für Start und Landung sowie eine sorgfältigere Flugplanung, da nur linienförmige Flugtrajektorien möglich sind und die Drohne ständig in Bewegung ist. Copter dagegen können schweben und liegen sehr stabil in der Luft. Sie können beliebig positioniert werden, auch bei Windgeschwindigkeiten von über 30 km/h, und können fast überall aus der Hand gestartet und gelandet werden. Dafür ist die Flugzeit mit einer Batterie auf 5–20 Minuten beschränkt. Für unsere Versuche haben wir die beiden folgenden Drohnen verwendet (Abb. 1.):

Der Copter Falcon 8 von Ascending Technologies (www.asctec.de) wird seit 2009 in Deutschland produziert. Mit einem Gewicht von 2.2 kg (inkl. Kamera) ist das System sehr leicht und kann dank seiner schmalen Form in einem speziellen Rucksack verpackt und auch auf Skis mitgetragen werden. Dank einer Kombination von GPS, Inertial Measurement Unit (IMU), Barometer und ausgereifter und erprobter Firmware für die Steuerung der acht Propeller, ist der Falcon 8 auch in schwierigem Gelände relativ einfach zu steuern. Der Octocopter ist mit einer Sony NEX-7 Systemkamera bestückt (24.3 Megapixel, 20 mm Brennweite), welche wir in einer modifizierten Version verwenden. Der werkseitige eingebaute Nahinfrarot-Filter wurde durch eine spezialisierte Firma ausgebaut, so dass wir mit aufschraubbaren Filtern sowohl RGB, NIR undefiniert, 550 nm, 770 nm und 830 nm Aufnahmen machen können. Die Nahinfrarot-Sensitivität könnte insbesondere bei Aufnahmen über Schnee (Bühler et

al., 2015b) und bei Vegetationsanalysen (Tucker, 1979) sowie bei schlechten Beleuchtungsverhältnissen von Vorteil sein. Die Kamera ist in einer aktiv stabilisierten Aufhängung angebracht, welche die Bewegungen durch den Wind ausgleicht und somit eine sehr hohe Bildqualität ermöglicht.

Der Starrflügler eBee der Firma senseFly (www.sensefly.com) ist mit einer handelsüblichen Canon IXUS/ELPH RGB Kamera mit 12 MPixel bestückt. Die Starrflügel-Konstruktion erlaubt der eBee eine deutlich längere Flugzeit pro Akkuladung als beim Falcon 8 möglich ist. Allerdings ist sie anfälliger für Wind und die Flugplanung / Landung im Gebirge sind deutlich anspruchsvoller.

Flugplanung und Datenverarbeitung

Die Flugplanung wird am Computer mit spezifischer Flugplanungssoftware mit Hilfe von georeferenzierten Karten vorgängig erstellt. Die Drohne fliegt die definierten Punkte anhand des eingebauten GPS automatisch ab. Die Flugplanung im Gebirge ist dabei deutlich komplexer als in flachen Gebieten, da Höhendifferenzen über 100 m die Regel sind. Deshalb ist es essentiell, dass die Flugplanung im Feld nochmals überprüft wird. Insbesondere bei Einsätzen bei starkem böigen Wind, tiefen Temperaturen und in grosser Höhe über Meer muss eine deutlich reduzierte Batterielaufzeit einberechnet werden.

Die Prozessierung der Bilder wird mit der photogrammetrischen Software «Agisoft PhotoScan Pro» durchgeführt (www.agisoft.com). Aus den Bildern, aufgenommen mit grosser Überlappung (> 70% in Flugrichtung und zwischen den Flugsteifen), wird mittels Kameraposition und -ausrichtung die Bündelausgleichung berechnet. Danach wird mittels «dense matching» das Oberflächenmodell erzeugt und anhand von im Feld erhobenen und vermessenen Passpunkten georeferenziert. Wir erreichen mit dieser Methode Positionierungsgenauigkeiten besser als 10 cm, in den meisten Gebieten sogar besser als 5 cm. Falls Gebiete mehrfach beflogen und Vergleiche zwischen verschiedenen Oberflächenmodellen verlangt werden, sind Passpunkte optimal, welche zu allen Aufnahmezeitpunkten sichtbar sind. Dies ist bei Schneebedeckung allerdings oft schwierig zu erreichen. Falls das UAV-GPS eine ausreichend hohe Lagegenauigkeit aufweist (Dezimeterbereich), wäre auch eine direkte Georeferenzierung der Daten möglich.

Abb. 1: AscTec Falcon 8 Copter mit einer Sony NEX-7 Kamera (links); Starrflügler eBee mit einer Canon IXUS/ELPH (rechts).

Lawinen-Ereignisaufnahme Wildi, Davos, GR

Am Samstag, 4. April 2015 ging beim Eingang des Dischmatals in Davos eine

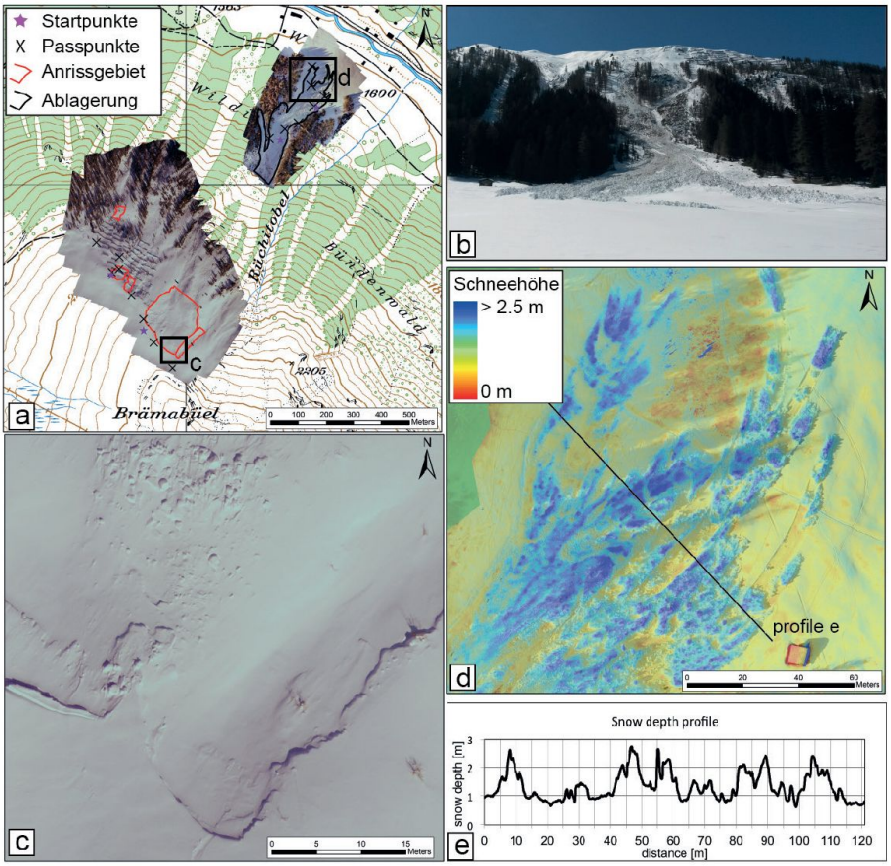

Abb. 2: a) Übersicht über die Wildi-Lawine und die verwendeten Passpunkte; b) Übersichtsfoto, aufgenommen am 7. April 2015; c) Detailansicht aus dem Anrissgebiet (3 cm Orthofoto Auflösung); d) Schneehöhen, abgeleitet aus dem Winter und dem Sommer DSM (5 cm DSM Auflösung); e) Schneehöhenprofil über die Lawinenablagerung. Pixelkarte©2015 swisstopo (5704 000 000).

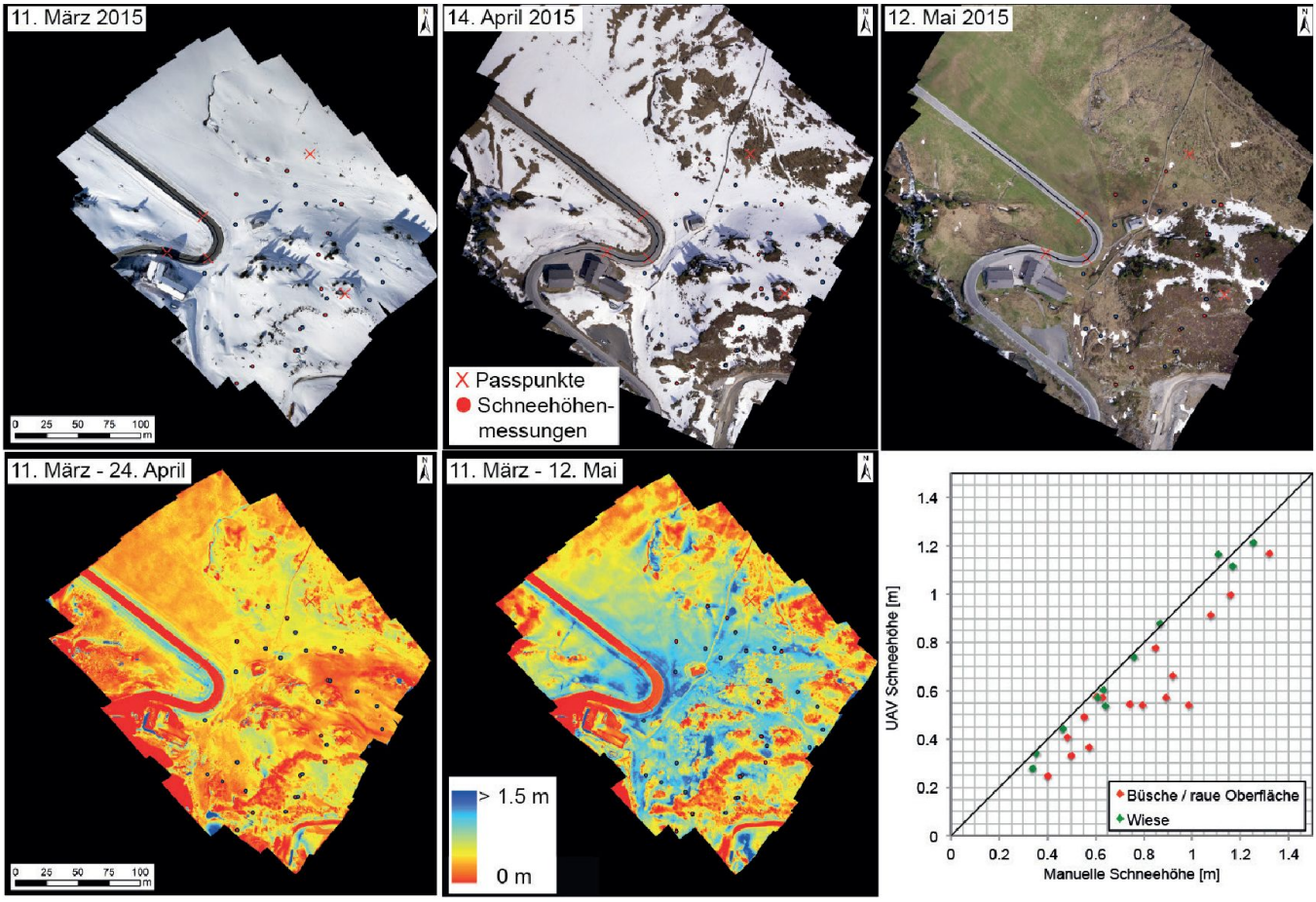

Abb. 3: Orthofotos mit 3 cm GSD aufgenommen an drei verschiedenen Daten (oben). Differenzbilder der Oberflächenmodelle (GSD 5 cm) und damit Schneehöhen-Veränderungskarten (unten links und Mitte). Vergleich der UAV Schneehöhen mit den Handmessungen (unten rechts).

Lawine mit einem Anrissvolumen von ca. 30 000 m³ Schnee nieder. In der Lawinenbahn wurde zudem feuchter Schnee erodiert und mitgerissen. Am Dienstag, 7. April haben wir sowohl das Anrissgebiet, wie auch die Ablagerung der Lawinen mit dem Falcon 8 und der undefinierten NIR Kamera beflogen. Vor der Befliegung sind Passpunkte mit Silva Marker Spray in den Schnee gesprayt worden und mit einem Trimble GeoXH mit Echtzeit-Korrektur vermessen worden (Genauigkeit besser als 10 cm). Abbildung 2a zeigt in der Übersicht das Anrissgebiet und den Auslauf der Lawine sowie die verwendeten Passpunkte. Aus den digitalen Oberflächenmodellen DOM, erhoben am 7. April und am 5. Mai 2015 (im unteren Teil schneefrei), können präzise Schneehöhen berechnet und visualisiert werden. Da die beiden Oberflächenmodelle absolut auf CH1903/LN02 referenziert wurden, erwarten wir eine Schneehöhen-Genauigkeit im Bereich von 20 cm, da bereits die GNSS Passpunkt-Messungen einen Fehler von bis zu 10 cm aufweisen können. Manuelle Schneehöhenmessungen konnten aus Zeitgründen nicht erhoben werden. Mit dieser Methode lassen sich Lawinenniedergänge effizient vermessen, ohne dass gefährliches Gelände betreten werden muss. Allerdings kann die Methode nicht verwendet werden, um Lawinenarme zu vermessen, welche in den Wald fliessen, was bei der Wildi-Lawine im Nordwesten des Kegels der Fall war.

Schneehöhenmessung Tschuggen, Davos, GR

Eine zweite, vor allem für die Hydrologie interessante Anwendung ist das Monitoring von Schneeablagerung und Schneeschmelze. Dies haben wir in einer früheren Untersuchung bereits erfolgreich mit der Luftbildkamera ADS80 durchgeführt (Bühler et al., 2015a). Um noch präzisere und räumlich höher aufgelöste Schneehöhen-Daten zu erhalten, haben wir das Testgebiet Tschuggen am Flüelapass an drei verschiedenen Terminen mit dem Falcon 8 beflogen: am 11. März 2015 (nahe an der maximalen Schneehöhe), am 24. April 2015 (Schneeschmelze in vollem Gang) und am 12. Mai 2015 (nahezu schneefrei). Wenn das Gebiet komplett schneefrei ist, haben wir diesen Sommer eine weitere Befliegung geplant. Aus den Höhendifferenzen der Oberflächemodelle lassen sich durch Differenzbildung Schneehöhenveränderungen kartieren. Wir benutzen für die Georeferenzierung fünf Passpunkte, welche in

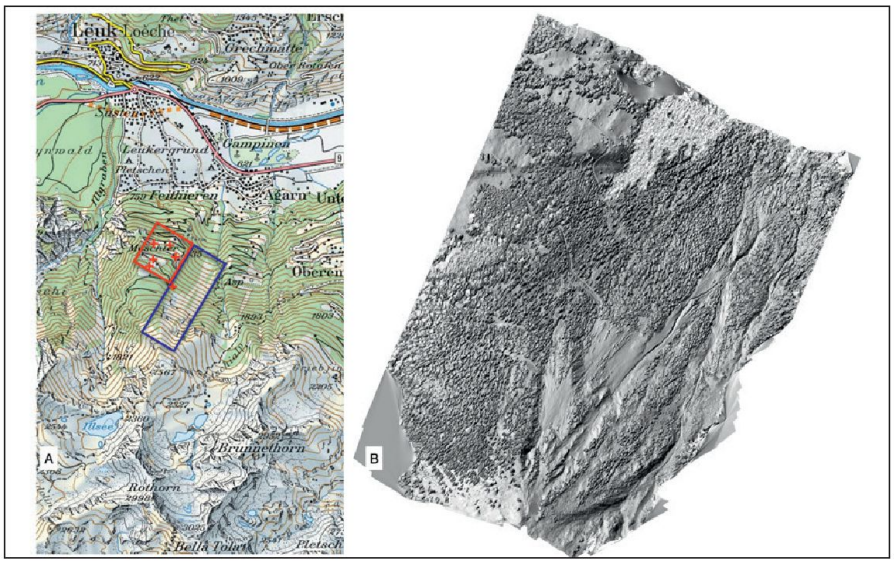

Abb. 4: a) Geplantes Fluggebiet (blau) mit Referenzpunkten, Start- und Landezone (rot). b) Oberflächenmodell mit 16cm Auflösung. Pixelkarte©2015 swisstopo (5704 000 000).

allen Bildern sichtbar sind. Damit erreichen wir eine Lokalisierungs-Genauigkeit von besser als 5 cm. Weil immer dieselben Passpunkte verwenden werden, treten keine künstlichen Höhenverschiebungen zwischen den einzelnen Oberflächenmodellen auf. Abbildung 3 gibt einen Überblick über die ersten Resultate der Schneehöhenkartierung im Testgebiet Tschuggen.

Der Vergleich der UAV-Schneehöhenkarten mit den terrestrischen Referenzmessungen (12 x 5 Messungen innerhalb eines m²), welche am 11. März und am 14. April 2015 mit einer Lawinensonde durchgeführt und mit differentiellem GNSS eingemessen wurden, zeigt, dass die erreichte Genauigkeit massgeblich von der Bodenbedeckung im Sommer abhängt. Während die Schneehöhen auf der Wiese im Westen des Untersuchungsgebietes sehr gut übereinstimmen (Abweichung von wenigen cm), treten im Gebiet im Osten, welches mit Büschen bewachsen ist, Abweichungen in der Grössenordnung von 30 cm auf. Die berechneten UAV-Schneehöhenveränderungen sind dabei konstant tiefer als die Handmessungen der Schneehöhe. Die Büsche (vorwiegend Alpenrose, Wachholder und Erika) werden im Winter vom Schnee an den Boden gedrückt und richten sich wieder auf, sobald der Schnee geschmolzen ist. Wir vermuten, dass die korrekte Schneehöhe zwischen den UAV-Messungen und den Handmessungen liegen, da die unterste Schicht in den Büschen nicht mit Schnee gefüllt ist, was aber mit der Sonde nicht gemessen werden kann.

Erosionsgebiet Meretschibach, Agarn, VS

Untersuchungen zu Steinschlag, Rutschungen und Murgängen finden oft in unzugänglichen und steilen Gebieten statt. Die Befliegung mit einem UAV vor und nach einem Ereignisfall erlaubt es, das Volumen von Rutschungen oder Steinschlag abzuschätzen. Im vorliegenden Testgebiet des Meretschibaches musste die Flugplanung einerseits die variable Neigung des Geländes berücksichtigen, andererseits gilt es auch die wenigen eindeutig sichtbaren terrestrischen Referenzpunkte einzubeziehen. Wegen der Grösse des Untersuchungsgebietes ist ein fixed-wing UAV vom Typ «eBee» der Firma senseFly eingesetzt worden. Bei einer GSD von 8 cm weist das resultierende Orthofoto eine Auflösung von 16 cm auf. Im vorliegenden Beispiel ist es notwendig, neben der eigentlich interessierenden Runse, welche wegen Steinschlaggefahr nicht begehbar war, auch die Start- und Landezone (rot in Abb. 4) fotografisch aufzunehmen.

Die terrestrischen Referenzpunkte konnten alle gefahrenbedingt nur in diesem Bereich platziert und mit GNSS eingemessen werden. Die räumliche Verteilung der Referenzpunkte ist daher nicht ideal, aber nur mit einem beträchtlichen Zusatzaufwand hätte die Ost-Seite der Runse einbezogen werden können. Die absolute Orientierung von Höhenmodellen im Hochgebirge ist oft mit Kompromissen verbunden. Daher muss zuerst die Platzierung der Referenzpunkte geplant und anschliessend die Flugplanung entsprechend angepasst werden.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Grundsätzlich sehen wir ein grosses Potenzial für den Einsatz von UAV für räumlich hochaufgelöste Geodatenaufnahmen im alpinen Gelände. Die hier präsentierten Beispiele sind durchaus repräsentativ für Anwendungen am SLF und an der WSL. Eine weitere wichtige, hier nicht untersuchte Anwendung, ist die Herstellung von präzisen Höhenmodellen für die numerische Simulation von alpinen Naturgefahren (Christen et al., 2012). Räumliche Auflösungen und Positionierungsgenauigkeiten besser als 10 cm konnten bisher nur mit Laser Scanning (LiDAR) oder mit Spezialbefliegungen mit Flugzeugen erreicht werden. Flugzeuggestützte Datenerfassungen für kleine Untersuchungsgebiete sind aber in den meisten Fällen deutlich teurer und zeitaufwändiger.

Eine sorgfältige Flugplanung mit genauen und aktuellen Höhenmodellen im Büro ist entscheidend, da an Ort und Stelle meist nicht das ganze Gelände einsehbar ist. Kleinere Anpassungen der Flugplanung an die tatsächlichen Verhältnisse (aktuelle Windrichtung, Startplatz, unvorhergesehene Hindernisse etc.) sind aber meistens notwendig. Die beiden eingesetzten UAVs sind mit relativ wenig technischer Erfahrung einsetzbar. Wesentlicher für einen erfolgreichen Einsatz

sind gute Ortskenntnisse, alpine Erfahrung und realistische Einschätzung der logistischen Möglichkeiten, z.B. plane und gut sichtbare Positionierung der Passpunkte in schwierigem Gelände.

Wenn Oberflächenveränderungen kartiert werden sollen, ist es von Vorteil Passpunkte zu verwenden, welche an allen Aufnahmezeitpunkten sichtbar sind. Dies ist gerade bei Schneehöhenmessungen nicht immer möglich und man muss auf die Georeferenzierung mit wechselnden Passpunkten zurückgreifen, was die erreichte Messgenauigkeit beeinträchtigen kann. Hochstehende Vegetation wie Büsche oder Bäume können im Oberflächenmodell wegen des Windeinflusses nur beschränkt wiedergegeben werden.

Wir werden mit weiteren Befliegungen und systematischen Tests die Grenzen dieser neuen Technologie weiter ausloten. Von grossem Interesse ist dabei zum Beispiel, ob nahinfrarot-sensitive Kameras tatsächlich bessere Oberflächenmodelle über schneebedecktem Gebiet erzeugen können oder auch welche der verfügbaren Prozessierungs-Varianten am besten für die Erzeugung von Oberflächenmodellen im Gebirge geeignet sind.

Literatur:

Bühler, Y., Marty, M., Egli, L., Veitinger, J., Jonas, T., Thee, P. and Ginzler, C., 2015a. Snow depth mapping in high-alpine catchments using digital photogrammetry. The Cryosphere, 9(1): 229-243.

Bühler, Y., Meier, L. and Ginzler, C., 2015b. Potential of operational, high spatial resolution near infrared remote sensing instruments for snow surface type mapping. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 12(4): 821-825.

Christen, M., Bühler, Y., Bartelt, P.a.L., R.and Glover J, Schweizer, A.a.G., C, McArdell, B.W., Gerber, W., Deubelbeiss, Y., Feistl, T. and Volkwein, A., 2012. Integral hazard management using a unified software environment: numerical simulation tool «RAMMS» for gravitational natural hazards. In: G. Koboltschnig, J. Hübl and J. Braun (Editors), Interpraevent, pp. 77-86.

Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8(2): 127-150.

Dr. Yves Bühler
Dipl. Geogr. Andreas Stoffel
WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF
Flüelastrasse 11
CH-7260 Davos Dorf
buehler@slf.ch

Dr. Ruedi Bösch
Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf

Mag. Marc Adams
Bundeforschungszentrum für Wald BFW
Hofburg, Rennweg 1
AT-6020 Innsbruck