

# Grossflächige hochaufgelöste Schneehöhenkarten aus digitalen Stereoluftbildern

Autor(en): **Ginzler, Ch. / Marty, M. / Bühler, Y.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **111 (2013)**

Heft 9

PDF erstellt am: **14.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-346989>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Grossflächige hochaufgelöste Schneehöhenkarten aus digitalen Stereoluftbildern

Kenntnisse über Schneemächtigkeiten und deren räumliche Verteilung sind wichtige Informationen für eine Reihe von Anwendungen in der Schnee- und Lawinenforschung. Heute werden Schneeverteilungen üblicherweise mittels Interpolationsverfahren von punktuellen manuellen Messungen und automatischen Messstationen ermittelt. Die hohe räumliche Variabilität im alpinen Gelände ist mit dieser Methode allerdings nicht erfassbar.

Mittels Airborne Laserscanning (ALS) können grosse Gebiete erfasst werden, die Kosten sind allerdings hoch. Aktuelle optische Sensoren, wie der ADS80, erlauben durch Stereokorrelation die Berechnung von digitalen Oberflächenmodellen (DOM). Die hohe radiometrische Auflösung von 11bit und die Kombination der spektralen Bänder von Blau bis zu nahem Infrarot bieten sich für ein Bild-Matching auch unter schwierigen Bedingungen an. Stehen digitale Geländemodelle (DTM) zur Verfügung, so lassen sich daraus Schneehöhen berechnen. Im Untersuchungsgebiet Davos (Graubünden, Schweiz) wurden im Winter 2009/10 und 2011/12 Flugstreifen mit Bodenauflösungen von ~25 cm akquiriert. Wir vergleichen die Ergebnisse mit differentiellen GPS Messungen und Messungen von terrestrischem Laserscanning, um die erreichbare Genauigkeit der Schneehöhenkarten zu quantifizieren und mögliche Einschränkungen zu identifizieren.

Ch. Ginzler, M. Marty, Y. Bühler

## 1. Einleitung

Schnee spielt eine wichtige Rolle im Alpen Raum, nicht nur für den Tourismus sondern unter anderem auch für die Energiegewinnung und Wasserversorgung, die lokale Fauna und Flora und die Sicherheit im Berggebiet. Allerdings ist seit langem bekannt, dass die Verteilung des Schnees im Gebirge räumlich sehr stark variiert (Lehning et al. 2008; Egli 2008, Grünwald et al. 2010). Allerdings kann diese räumliche Variabilität der Schneedecke bis heute noch nicht befriedigend über grosse Flächen erfasst werden. Heute wird die Schneehöhe meist anhand von Punktmessungen an automatischen Wetterstationen oder von Beobachtern an definierten Orten gemessen (Egli 2008). Danach werden die Messwerte über grosse Gebiete interpoliert und mit satellitengestützten Schneebedeckungskarten kom-

biniert. Dabei wird aber die kleinräumige Variabilität der Schneehöhen nicht erfasst. Zudem ist kaum bekannt, inwiefern die Messungen an den Stationen für die Einzugsgebiete repräsentativ sind. Terrestrial Laserscanning (TLS) kann benutzt werden, um Schneehöhen räumlich kontinuierlich zu messen. Grosse Einzugsgebiete wie zum Beispiel das Dischma Tal können damit nicht vollständig abgedeckt werden. Laserscanning vom Flugzeug oder Helikopter aus (Airborne Laser Scanning ALS) kann grössere Gebiete auch in heiklen Situationen abdecken, allerdings sind die Kosten bereits für kleinere Flächen sehr hoch. In der vorliegenden Untersuchung nutzen wir den optoelektronischen Scanner ADS80 der Firma Leica Geosystems, um Oberflächenmodelle für den Sommer und Winter im Raum Davos zu berechnen. Daraus leiten wir räumlich kontinuierliche Schneehöhen über weite Gebiete (ca. 120 km<sup>2</sup>) ab. Diese Methode ist für grosse Flächen (mehrere km<sup>2</sup>) deutlich kostengünstiger

als Laserscanning. Um die Zuverlässigkeit der photogrammetrischen Oberflächenmodelle abzuschätzen, vergleichen wir diese Schneehöhen mit Handmessungen, welche zeitgleich mit dem Überflug im Feld erhoben wurden.

## 2. Untersuchungsgebiet

Die beiden Untersuchungsgebiete befindet sich im Südosten der Schweiz, in der Nähe der Stadt Davos. Der Talboden befindet sich auf rund 1500 m ü. M., die höchsten Gipfel reichen bis über 3000 m ü. M. Die Untersuchungen werden in den zwei Testgebieten Wannengrat (ca. 28 km<sup>2</sup>) und Dischma (ca. 90 km<sup>2</sup>) durchgeführt (Abb. 1). Das «Kern»-Testgebiet, wo verschiedene Untersuchungen des WSL- Institut für Wald, Schnee und Lawinenforschung SLF lokalisiert sind, liegt südwestlich des Skigebietes Parsenn im «Steintälli» und dem «Vorder Latschüel». Wir fassen dieses Gebiet nachfolgend unter dem Begriff «Wannengrat» zusammen (Abb. 1).

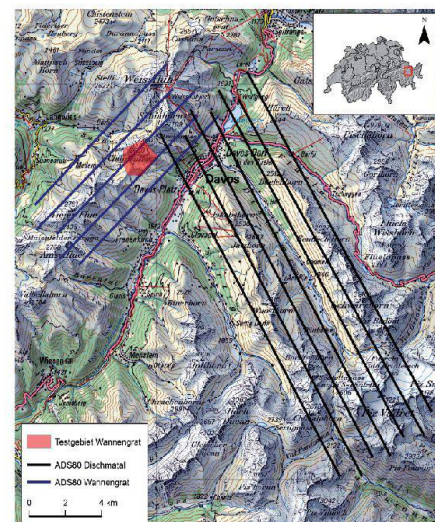


Abb. 1: Fluglinien der ADS80 Zeilensensordaten für die Untersuchungsgebiete Wannengrat und Dischma und das Testgebiet am Wannengrat (rot).

Fig. 1: Lignes survolées par la caméra ADS80 (capteur linéaire) dans les zones étudiées de Wannengrat et de Dischma et localisation de la zone de test de Wannengrat (en rouge).

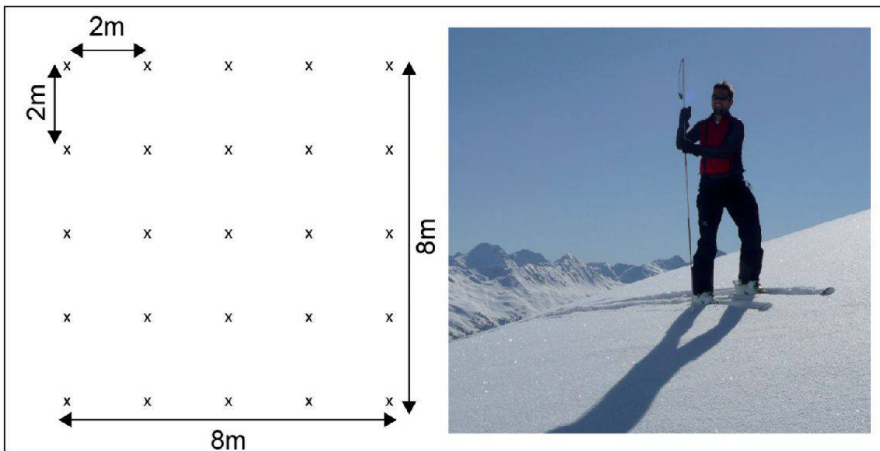


Abb. 2: Messschema für die manuellen Schneehöhenmessungen mit der Lawinensonde.

Fig. 2: Grille adoptée pour la mesure manuelle de la hauteur de neige avec la sonde d'avalanche.

### 3. Daten und Methoden

#### 3.1 Luftbilder

Die Luftbilddatensätze sind nahe am maximalen Stand der Schneehöhe im Frühjahr 2010 (16.04.2010), Frühjahr 2012 (20.03.2012) und als Referenz im Sommer 2010 (26.08.2010) für die Untersuchungsgebiete Wannengrat und Dischmatal aufgenommen worden. Die Aufnahmen erfolgten mit dem opto-elektronischen Zeilenscanner ADS80 durch die Herstellerfirma Leica Geosystems. Die Luftbildstreifen beider Untersuchungsgebiete haben eine Querüberlappung von ca. 70%. Die räumliche Auflösung der Bilder beträgt 25 cm (GSD). Beim Bildflug erfolgt eine simultane Aufnahme von fünf Spektralbändern (rot, grün, blau, nahes Infrarot und pan) mit einer radiometrischen Auflösung von 11 bit sowie in drei Aufnahmewinkeln (backward  $-16^\circ$ , nadir, forward  $+27^\circ$ ). Dieser Sensor wurde bereits erfolgreich für Anwendungen wie der Berechnung von Digitalen Oberflächenmodellen im Hochgebirge (Bühler et al., 2012), Lawinenkartierungen (Bühler et al., 2009) und der Klassifikation von Baumarten (Waser et al., 2011) eingesetzt.

#### 3.2 Feldmessungen

Zeitgleich mit der Befliegung wurden im Feld mit einer Lawinensonde an 15 ver-

schiedenen Orten Plots von 5 mal 5 Messungen im Abstand von 2 Metern vorgenommen und die Eckpunkte mittels differentiell GNSS festgehalten (Abb. 2). Somit wurden insgesamt 375 einzelne Schneehöhenmessungen von Hand erhoben. Weil die Schneehöhe aber bereits innerhalb weniger Zentimeter stark variieren kann, zum Beispiel wenn am Boden ein Felsbrocken liegt, vergleichen wir nicht die einzelnen Punkte sondern die Mittelwerte und Standardabweichungen der ganzen Plots mit den entsprechenden Gebieten aus den ADS Oberflächenmodellen. Weitere Schneehöhen-Referenzdaten, erhoben mit differentiell GNSS, TLS und Ground Penetrating Radar GPR wurden ebenfalls zeitgleich mit dem

Überflug erhoben. Diese Daten werden in den nächsten Monaten ausgewertet.

#### 3.3 Bildkorrelation

Die Berechnung der Oberflächenmodelle erfolgt mit dem Softwarepaket SOCETSET 5.6 der Firma BAE SYSTEMS. Dabei finden die beiden Module NGATE («Next Generation Automatic Terrain Extraction») und AATE («Adaptive Automatic Terrain Extraction») Verwendung. NGATE basiert auf einem hybriden Bildkorrelationsalgorithmus, welcher flächen- und kantenbasierende Methoden zur Bestimmung eines Ähnlichkeitsmasses für korrespondierende Punkte, kombiniert. AATE ist eine Weiterentwicklung des älteren Algorithmus ATE, welcher in (Zhang und Miller, 1997) beschrieben wird. Die Berechnung des Ähnlichkeitsmasses anhand der zweidimensionalen Kreuzkorrelation wird dabei durch flächenbasierte Methoden durchgeführt. Der «Multi-Image Matching» Algorithmus und die «Back-Matching» Funktion sind auch in dieser Softwareversion enthalten. Die Bildkorrelation wird in einem regelmässigen, Abstand durchgeführt («Post Spacing»).

In der vorliegenden Untersuchung werden die DOMs mit einer räumlichen Auflösung von 1 m gerechnet. Die komplexe Topographie im Hochgebirge und die zum Teil sehr kontrastarmen Bildteile mit Neuschnee erschweren die Bildkorrelation. Diese Gegebenheit führt dazu, dass die Anwendung einer einzigen Korrelationsstrategie nie für alle unterschiedlichen Ge-

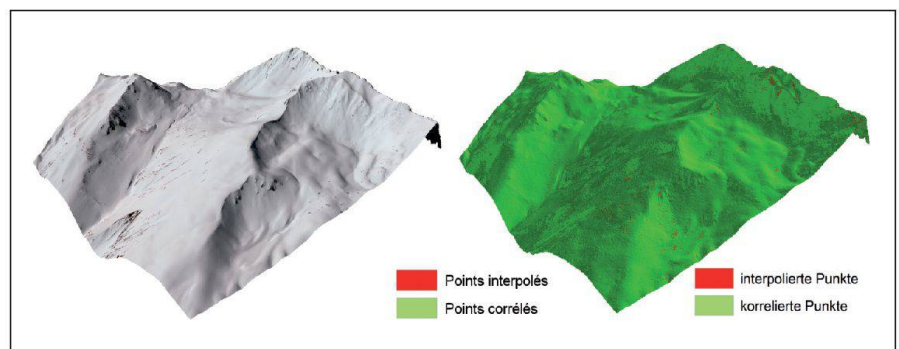


Abb. 3: Korrelierte und interpolierte Geländepunkte des photogrammetrischen Oberflächenmodells vom Testgebiet Wannengrat, Winter 2012.

Fig. 3: Points du terrain corrélés et interpolés du modèle de surface photogrammétrique, zone de test de Wannengrat (hiver 2012).

lände- und Illuminationsbedingungen zu befriedigenden Ergebnissen führt. Daher wurden von jedem Bildstreifen drei unterschiedliche DOMs gerechnet (2 x NGATE, 1 x AATE) und miteinander kombiniert. Mit NGATE fanden die beiden Strategien «low\_contrast» und «urban» Verwendung. Die Kombination der verschiedenen DOMs erfolgte nach der Eliminierung der nicht korrelierten Punkte aus allen DOMs. Die Schneehöhe wurde aus der Differenz des kombinierten DOM und einem DOM aus den Stereoluftstreifen der Sommerbefliegung berechnet.

## 4. Resultate

Zur Abschätzung der Qualität eines photogrammetrischen Oberflächenmodells ist es von zentraler Bedeutung, ob Geländepunkte aus der eigentlichen Bildkorrelation oder durch eine Interpolation von angrenzenden Punkten gewonnen werden konnten. In Abbildung 3 sind die korrelierten bzw. interpolierten Geländepunkte aus dem kombinierten DOM für das Testgebiet Wannengrat dargestellt. Insgesamt wird dieser Ausschnitt durch 2 377 014 Geländepunkte modelliert, wobei nur 0.38% (8940) der Punkte interpoliert werden mussten.

Die qualitative Begutachtung der Schneehöhenkarten (Abb. 4) belegt die Plausibilität der Resultate. Aus Grünewald et al. (2010) bekannte Schneefallen an Luv-Seiten von Geländerrücken und Wächten sind sehr schön erkennbar. Wind und Schneeverfrachtungen durch Lawinen führen zu einer gut erkennbaren Verfüllung von Rinnen und insbesondere Bachtobeln.

Um auch quantitative Aussagen über die Qualität der photogrammetrischen Schneehöhenkarten machen zu können, vergleichen wir die Resultate mit den von Hand gemessenen Plots. Allerdings konnte die Schneehöhe nicht an allen Plots manuell korrekt erhoben werden, da die Schneehöhe teilweise die Länge der Lawinensonde von 3.10 m überstiegen hat. Der Korrelationskoeffizient R zwischen den mittleren Schneehöhen der ADS- und Referenzdaten beträgt 0.95.

## 5. Diskussion

In dieser Untersuchung wurde erstmals erfolgreich mittels digitaler photogrammetrischer Oberflächenmodelle eine grossflächige und räumlich kontinuierliche Kartierung der Schneehöhen in einem hochalpinen Einzugsgebiet durchgeführt. Entgegen der weit verbreiteten Meinung, dass über schneebedeckten Flächen die Korrelation von Bildpunkten problematisch ist, konnten wir sehr gute Resultate erzielen. Dies obwohl die Befliegung unmittlbar nach dem letzten Schneefall stattfand und die Oberfläche sehr homogen war. Der Vergleich mit Handmessungen, welche zeitgleich mit dem Überflug im Feld erhoben worden sind, zeigt eine hohe Übereinstimmung ( $R = 0.95$ ). Daraus leiten wir ab, dass die vorgeschlagene Technologie für die räumlich hochaufgelöste und kontinuierliche Kartierung der Schneehöhe in Alpinen Einzugsgebieten erfolgreich eingesetzt werden kann und dies deutlich kostengünstiger als mit ALS. Als Einschränkung ist zu nennen, dass bestockte Flächen nicht ausgewertet werden können. Allerdings können aus den ADS Luftbildern Bäume und apere Flächen klassiert und vor der Schneehöhenberechnung ausgeschieden werden. Wir werden weitere Referenzdatensätze (dGNSS, TLS & GPR) verwenden, um die Qualität der ADS-Schneehöhenmessungen in weiteren Gebieten (Dischma, Steintälli) zu analysieren. Zudem werden wir Befliegungen verschiedener Winter, 2010/11 (unterdurchschnittliche Schneemengen) und 2011/12 (überdurchschnittliche Schneemengen), vergleichen können. Die generierten Schneehöhenkarten sollen in Zukunft weitere wichtige Untersuchungen in der Schneehydrologie, Schneeklimatologie, Ökologie, Lawinenforschung und weiteren alpinen Forschungsgebieten ermöglichen.

### Literaturverzeichnis:

- Bühler, Y.; Marty, M. & Ginzler, C. 2012: High Resolution DEM Generation in High-Alpine Terrain Using Airborne Remote Sensing Techniques. *Transactions in GIS*, 2012, 16 (5), 635–647.
- Bühler, Y.; Hüni, A.; Christen, M.; Meister, R.; Kellenberger, T., 2009: Automated detection and mapping of avalanche deposits using airborne optical remote sensing data. *Cold Reg. Sci. Technol.* 57: 99–106.
- Egli, L. 2008: Spatial variability of new snow amounts derived from a dense network of Alpine automatic stations. *Annals of Glaciology*, 49, 51–55.
- Grünewald, T.; Schirmer, M.; Mott, R. & Lehning, M., 2010: Spatial and temporal variability of snow depth and ablation rates in a small mountain catchment. *Cryosphere*, 4, 215–225.
- Lehning, M.; Löwe, H.; Ryser, M. & Raderschall, N. 2008: Inhomogeneous precipitation distribution and snow transport in steep terrain. *Water Resources Research*, 44.
- Waser, L.T.; Ginzler, C.; Kuechler, M.; Baltsavias, E.; Hurni, L., 2011: Semi-automatic classification of tree species in different forest ecosystems by spectral and geometric variables derived from Airborne Digital Sensor (ADS40) and RC30 data. *Remote Sens. Environ.* 115: 76–85.
- Zhanh, B.; Miller, S. 1997: Adaptive Automatic Terrain Extraction. *SPIE Proceedings*, Volume 3072.

Christian Ginzler  
Eidg. Forschungsanstalt für Land, Schnee und Landschaft WSL  
CH-8903 Birmensdorf  
christian.ginzler@wsl.ch

Mauro Marty  
Eidg. Forschungsanstalt für Land, Schnee und Landschaft WSL  
CH-8903 Birmensdorf  
mauro.marty@wsl.ch

Yves Bühler  
WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung  
CH-7260 Davos-Dorf  
yves.buehler@slf.ch