

# Temporale Metadaten swissALTI<sup>3D</sup>

## Die Zeit als zusätzliche Dimension des Höhenmodells

Digitale Höhenmodelle aus verschiedenen Herkunftsjahren sind zentrale Datensätze für die Berechnung von Volumen- und Massenveränderungen in der Glaziologie. Das swissALTI<sup>3D</sup> ist mit seiner homogenen Datenqualität und einer garantierten Aktualisierung ein idealer Datensatz für die schweizweite Berechnung solcher Veränderungen. Eine unumgängliche Grundlage für eine sichere Verwendung sind temporale Metadaten. In der vorliegenden Arbeit wird das Konzept und die Umsetzung zur Ableitung eines zusätzlichen Datensatzes mit temporalen Metadaten aus den Ursprungsdaten des swissALTI<sup>3D</sup> vorgestellt.

*Pour les calculs de bilans de masse et de variations volumiques en glaciologie, les modèles altimétriques provenant d'années différentes sont des jeux de données essentiels. Doté d'une qualité homogène et d'un cycle de mise à jour garanti, swissALTI<sup>3D</sup> est un jeu de données idéal pour les calculs des variations précitées sur le territoire Suisse. Néanmoins, les métadonnées temporelles de mise à jour sont une source d'information indispensable afin d'utiliser ce jeu de données. Dans l'objectif de rendre cette utilisation possible, un jeu de données contenant les métadonnées temporelles de mise à jour a été conçu et mis en production.*

I modelli altimetrici digitali risalenti ad annate diverse sono set di dati fondamentali per il calcolo dei cambiamenti di volumi e misure in glaciologia. Con la sua qualità omogenea di dati e la sua attualizzazione garantita, swissALTI<sup>3D</sup> è il set di dati ideale per calcolare questi cambiamenti su tutto il territorio svizzero. I metadati temporali costituiscono una base inconsueta per un utilizzo sicuro. In questo lavoro di diploma si presenta il concetto e il processo per derivare dai dati originari di swissALTI<sup>3D</sup> un set di dati addizionale con metadati temporali.

Y. Weidmann, F. Gandor, R. Artuso

### 1. Hintergrund und Motivation

Digitale Höhenmodelle sind in der Glaziologie die wichtigste Basis zur Berechnung von Volumenveränderungen in Gletschern. Gletscheroberflächen sind einem steten Wandel unterworfen, sie können sich zwischen zwei Aufnahmedaten zum Teil massiv verändern. Als Beispiel verringerte sich die Höhe im Zungenbereich des Griesgletschers (Obergoms, VS) zwischen 2007 und 2012 um bis zu 25 Meter.

Die nachfolgende Grafik zeigt als weiteres Beispiel die Berechnung der Höhenveränderung des Findelengletschers bei Zermatt (VS) zwischen 2005 und 2010. Die negativen Werte entsprechen der Höhenabnahme zwischen den beiden Jahren. Von der Höhenabnahme ist vor allem das Zehrgebiet und im Speziellen die Gletscherzunge betroffen.

Für die Analyse der Höhenveränderungen von Schweizer Gletschern wurden von der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich in der Vergangenheit eigene Höhenmodelle hergestellt. Diese wurden in aufwendiger Arbeit aus historischen und aktuel-

len Luftbildern der swisstopo oder von privaten Firmen erzeugt. Aufgrund des grossen Aufwands konnte auf diese Weise nur eine geringe Anzahl ausgewählter Gletscher über einen längeren Beobachtungszeitraum erfasst werden.

Mit dem Produkt swissALTI<sup>3D</sup> der swisstopo steht nun seit wenigen Jahren ein schweizweites, homogenes Höhenmodell mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung zur Verfügung. Im Gegensatz zu individuell hergestellten Höhenmodellen mit klar definierten Datenquellen sind aber die Eingangsdaten des swissALTI<sup>3D</sup> stark heterogen. Es basiert auf vielen Ursprungsdatentypen, die auf unterschiedliche Art und zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfasst werden.

Die Grunddaten des swissALTI<sup>3D</sup> bestehen aus einer hoch aufgelösten Punktwolke (0.5–20 Punkte pro Quadratmeter) und einer grossen Anzahl von Bruchkanten. Aus diesen beiden Grundelementen wird ein unregelmässiges Dreiecksnetz (Triangulated Irregular Network, TIN) gebildet. Dieses TIN wird anschliessend als Zwei-Meter-Raster interpoliert und steht als Produkt swissALTI<sup>3D</sup> den Anwendern zur Verfügung (swisstopo 2018).

Wie oben erwähnt, stammen die Punktwolke und die Bruchlinien aus unterschiedlichen Datenquellen (z.B. Dense Image Matching (DIM) von Luftbilder (Hirschmüller 2008), LiDAR u.a.m.), welche zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen werden. Im Rahmen der Überarbeitung des swissALTI<sup>3D</sup> bei der swisstopo werden in Gebieten mit veränderten Höhenwerten entweder die bisherigen Daten durch neue ergänzt oder innerhalb des betroffenen Gebiets werden alle Daten gelöscht und durch die neuen ersetzt. Dies führt einerseits zu einem stetig angepassten, akkuraten Höhenmodell aber andererseits auch zu einem Datensatz, der in Bezug auf die zeitliche Herkunft der Grunddaten eine grosse Heterogenität aufweist.

Aufgrund dieser Datenstruktur ist bei der Berechnung von Höhendifferenzen zwischen zwei Releases des swissALTI<sup>3D</sup> also nicht nur die räumliche Komponente zu berücksichtigen; die zeitliche Herkunft

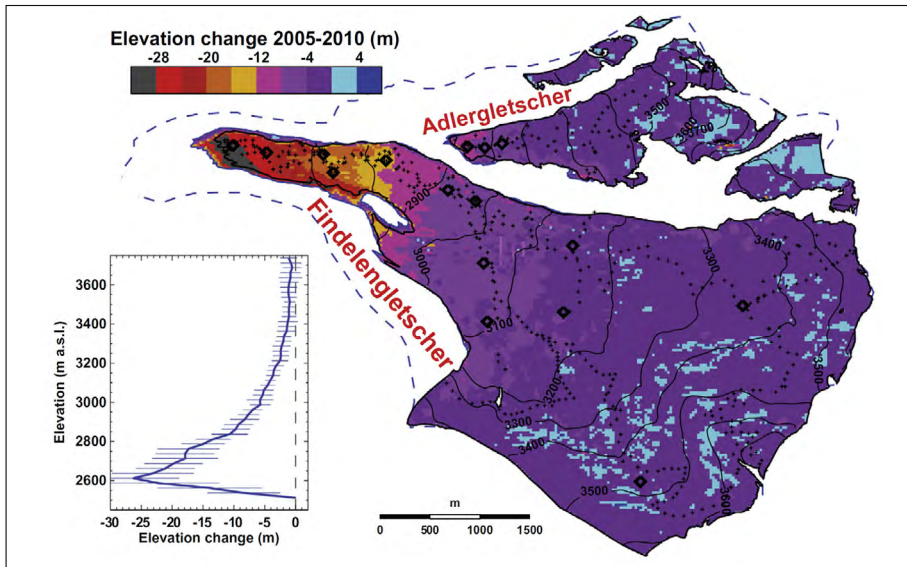


Abb. 1: Höhenveränderung des Findelengletschers (Zermatt, VS) zwischen 2005 und 2010 (Huss et al 2014).

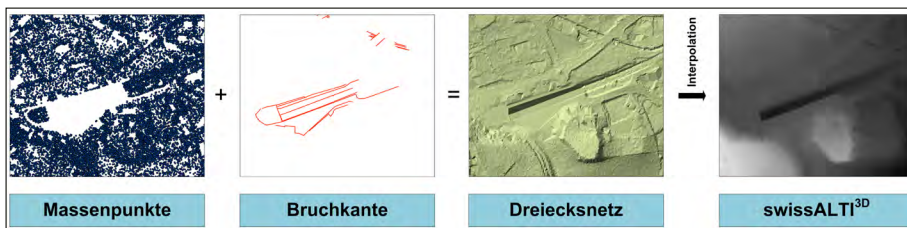


Abb. 2: Komponenten und Abhängigkeiten des gerasterten swissALTI<sup>3D</sup>.

der Daten im Berechnungsperimeter sollte ebenfalls als wichtige Information in die Kalkulationen einbezogen werden. Ein zusätzliches Element, das bei Berechnungen berücksichtigt werden sollte, ist die zeitliche Stabilität der einzelnen Massenpunkten. Diese ist unter anderem abhängig von der materiellen Ausprägung der Geländeoberfläche (z. B. Fels,

Lockergesteine oder Gletscher). Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch ein Gebiet um eine Gletscherzunge, die Farben visualisieren die Stabilität der Messpunkte, bzw. die Dynamik der Geländeänderung: In Gletschergebieten sind über die Zeit grössere Veränderungen im Gelände zu erwarten, entsprechend muss mit ständigen Anpassungen

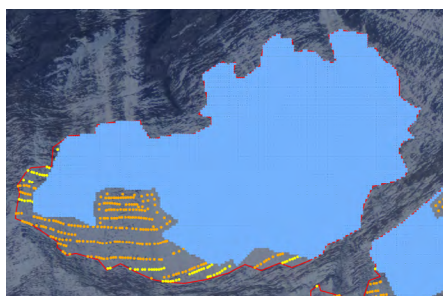
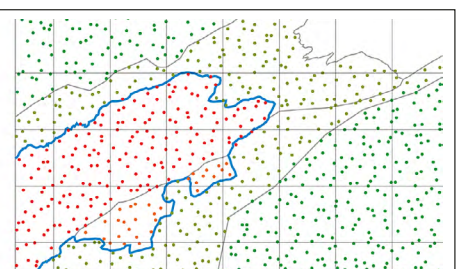


Abb. 3: Zeitliche Heterogenität der Grunddaten des swissALTI<sup>3D</sup>. Die verschiedenen Farben entsprechen den verschiedenen Herkunftsjahren der Massenpunkte.



Zunge des Griesgletscher (Obergoms, VS) 2015



Stabilität einzelner Massenpunkte über die Zeit: Rot: sehr dynamische Höhenveränderungen (Gletscher, Toteis, ...). Grün: kaum bis wenig Höhenveränderung (Fels und Lockergesteine).

Abb. 4: Heterogenität der Stabilität einzelner Massenpunkte über die Zeit.

im swissALTI<sup>3D</sup> gerechnet werden. Im Gegensatz dazu müssen Gebiete mit kaum oder wenig Höhenänderungen (stabiler Fels oder Lockergesteinen) nur in wenigen Fällen angepasst werden. Aus dem Release-Jahr des swissALTI<sup>3D</sup> kann der Erfassungszeitpunkt für eine einzelne Rasterzelle nicht abgeleitet werden. Zudem können im swissALTI<sup>3D</sup>-Rasterdatensatz neben der Höhe keine weiteren Attribute in der geforderten Art geführt werden. Um swissALTI<sup>3D</sup> trotzdem für die Anwendungen in der Glaziologie verwenden zu können, wurde die Erstellung einer neuen Metadatenenebene zu den zeitlichen Informationen der swissALTI<sup>3D</sup>-Grunddaten geplant. Die Anforderungen an diese Ebene wurden im Rahmen des Gletschermonitorings Schweiz (GLAMOS, www.glamos.ch) ausgearbeitet und beschrieben (Weidmann 2015). Diese Anforderungen wurden im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen GLAMOS und swisstopo (2015–2018) umgesetzt und dienen ebenfalls der Integration des Gletscherinventares Schweiz in das swissTLM<sup>3D</sup> (Gross 2018).

## 2. Prototyp für die Generierung eines zeitlichen Metadatenlayers swissALTI<sup>3D</sup>

Als Proof-Of-Concept und Prototyp wurde durch die Firma *Geoldee Weidmann* das Vorgehen, die Datenstruktur und das Darstellungsmodell konzeptuell erarbeitet

und als GeoProcessor für ArcGIS in C# umgesetzt.

Die konzeptuelle Grundanforderung an einen temporalen Metadatenlayer ist die Bestimmung des Herkunftsjahrs für jeden Massenpunkt der swissALTI<sup>3D</sup>-Grunddaten innerhalb einer frei wählbaren Fläche. Die gesammelten Informationen werden anschliessend über die Fläche aggregiert, statistisch ausgewertet und dargestellt. Der neu programmierte Geoprocessor liest jeden einzelnen Massenpunkt des swissALTI<sup>3D</sup> aus einer Geodatenbank aus und dekodiert das Herkunftsjahr aus dem Attribut Messure.

Zur Aggregation der Herkunftsjahre wurden Versuche mit Polygonflächen verschiedener Grösse durchgeführt. Die aussagekräftigsten Resultate für die Glaziologie wurden mit regelmässigen Kacheln mit einer Kantenlänge von 0,5–3 km erzielt.

Für die Umsetzung des temporalen Metadatenlayers wurde eine Kachelgrösse mit einer Kantenlänge von 1 km gewählt. Damit konnten zwei Anforderungen erfüllt werden, zum einen bleibt die Variabilität der Daten innerhalb einer Kachel in einem überschaubaren Rahmen, zum anderen stellt sie ein Kompromiss dar zwischen der detaillierten Datierung des swissALTI<sup>3D</sup> und den durchschnittlichen Gletschergrössen. Zudem entspricht die Kantenlänge von 1 km der Kachelung des SWISSIMAGE (ab 2018). Versuche der Aggregation über ganzen Gletscherflächen anstelle einzelner Kacheln zeigten ebenfalls brauchbare Resultate. Sie wurden verwendet, um die Homogenität der Daten über variable Gebiete zu prüfen.

### 3. Realisierung, Datensatz und Darstellung

Die jährliche Nachführung des Produktes swissALTI<sup>3D</sup> wird zurzeit jedes Jahr auf Ende Dezember abgeschlossen. Zu diesem Zeitpunkt wird die Produktionsdatenbank als eine integrale Kopie auf einem internen, gesicherten Server gespeichert. Damit kann sichergestellt werden, dass Arbeitsstände von Produktionsdaten für abgeleitete Produkte auch mittelfristig

verfügbar sind und dass die weitere Produktion parallel zu der Ableitung der jährlichen Produkte weiterlaufen kann. Aus der gesicherten und eingefrorenen Kopie der Produktionsdatenbank wird anschliessend der in dieser Arbeit beschriebene Metadatenatz abgeleitet. Für den Release 2018 wurde dies noch manuell ausgeführt, ab dem Jahr 2019 soll dann der temporale Metadatenatz jeweils automatisch abgeleitet werden. Der Ableitungsprozesse der Metadaten verläuft in zwei Schritten:

#### a) Bildung der geometrischen Grundeinheiten für die statistische Auswertung der Herkunftsjahre

Wie erläutert, bilden die Kacheln des SWISSIMAGE die Basis für die Aggregation und Statistik. Um die Anforderungen der Glaziologie zu erfüllen, wurden für den Release 2018 nur Gletscherflächen des swissTLM<sup>3D</sup> berücksichtigt (Gross 2018). Diese Gletscherflächen wurden mit den Kacheln des SWISSIMAGE verschnitten.

#### b) Statistische Auswertung der Herkunftsjahre pro Grundeinheit

Als Erstes werden alle Massenpunkte und Bruchkanten für jede geometrische

Grundeinheit aus der Kopie der Produktionsdatenbank gelesen.

Für die Berechnung der Statistik müssen Bruchkanten auf ihre Vertices reduziert werden. Die Bruchkanten sind jeweils stereoskopisch gemessene 3D-Linien, sie bestehen aus mindestens zwei Vertices, jeder Vertex wird in der Statistik mit dem gleichen Gewicht wie ein einzelner Massenpunkt berücksichtigt.

Alle Massenpunkte und Vertices verfügen über drei räumliche Koordinaten (Easting, Northing und Höhe) sowie einen Measure-Wert. Im Measure-Wert sind drei Metadatenwerte kodiert: Genauigkeit, Herkunft und Herkunftsjahr (siehe Tabelle). Der beschriebene temporale Metadatenatz berücksichtigt ausschliesslich das *Herkunftsjahr* der Massenpunkte und Vertices.

Nach der Dekodierung des Herkunftsjahres aus den Measure-Werten, wird die Statistik berechnet. Dabei werden für jede geometrische Grundeinheit die folgenden Kennwerte berechnet:

- Das älteste Jahr, aus welchem ein Massenpunkt/Vertex stammt (Min)
- Das jüngste Jahr, aus welchem ein Massenpunkt/Vertex stammt (Max)
- Das Herkunftsjahr mit den meisten Massenpunkten/Vertices (Mode)



Abb. 5: Herleitung der geometrischen Grundeinheiten für die statistische Auswertung der Herkunftsjahre.

Genauigkeit	Herkunft	Herkunftsjahr
0–10 cm	GN/TLM Nachführung	2007
10–25 cm	TLM Spezialnachführung	2008
25–50 cm	LiDAR swisstopo	2009
50–100 cm	LiDAR extern	2010
usw.	usw.	usw.

Tab. 1: Exemplarischer Auszug aus der Tabelle mit möglichen Metadatenwerten für Massenpunkte oder Vertices.



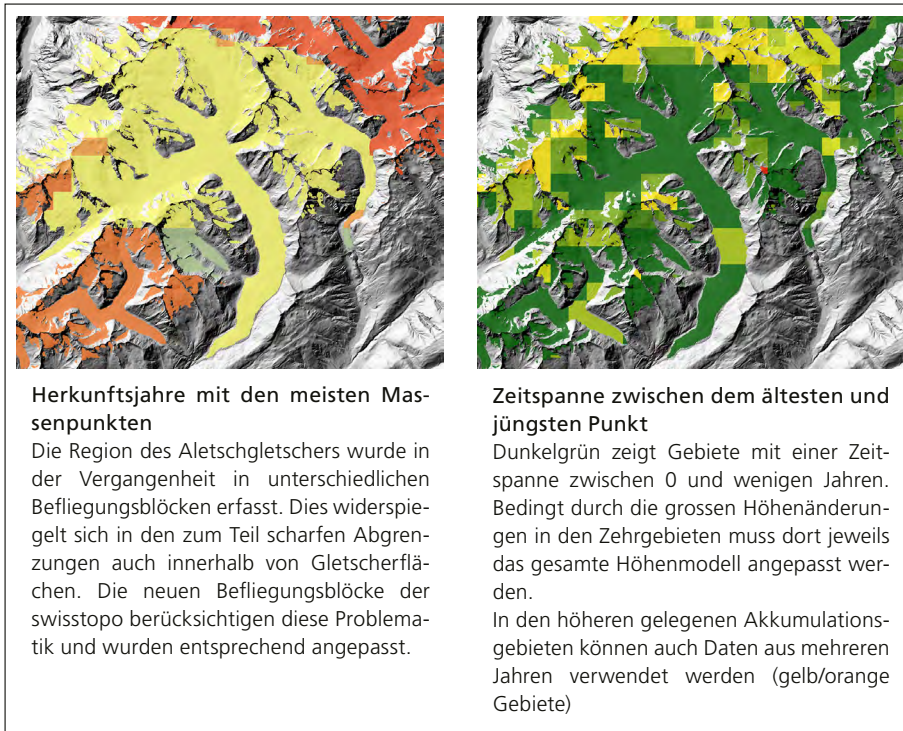


Abb. 6: Unterschiedliche Symbolisierung des temporalen Metadatenlayers in der Region Aletschgletscher.

- Die Anzahl von verschiedenen Herkunftsjahren (Disparity)
- Die Zeitspanne zwischen dem ältesten und jüngsten Herkunftsjahr (Range)
- Die Gesamtzahl aller Massenpunkte (Count)

Zudem wird für jede geometrische Grundeinheit die Anzahl Massenpunkte und Vertices pro Herkunftsjahr erfasst. Diese Information wird als externe Tabelle abgelegt und über einen einmaligen Schlüssel mit den geometrischen Einheiten verbunden. Sie kann als Histogramm für jede einzelne Einheit ausgegeben werden.

Für die Konsultation und Analyse des Metadatenlayers sind verschiedenste Darstellungsvarianten möglich. In den meisten Fällen gilt es aber, die Herkunftsjahre mit den meisten Massenpunkten und die Zeitspanne der Herkunftsjahre zu visualisieren. Die folgende Abbildung zeigt in der Region des Aletschgletschers diese zwei Varianten und deren unterschiedlichen Aussagen.

Ob ein Ausschnitt des swissALTI<sup>3D</sup> für Modellierungen der Glaziologie verwendet werden kann, hängt von der Güte der

statistisch ausgewerteten temporalen Parameter einer geometrischen Grundeinheit ab. Die entscheidenden Kennwerte sind das Herkunftsjahr mit den meisten Punkten (Mode) und die Zeitspanne zwischen dem ältesten und jüngsten Herkunftsjahr (Range). Der Modus (eng. Mode) bezeichnet das Jahr, das für die spezifische Höhe der Gletscheroberfläche verwendet wird. Der Range gibt eine Information über die Heterogenität der swissALTI<sup>3D</sup>-Daten innerhalb der geometrischen Grundeinheit. Bei glaziologischen Modellierungen dürfen nur Einheiten für Berechnungen berücksichtigt werden, bei welchen die Zeitspanne möglichst gering ist. Im optimalen Fall stammen alle Punkte aus dem gleichen Jahr.

#### 4. Fazit, Aussicht und Diskussion

Mit dem vorgestellten temporalen Metadatenlayer existiert ein neues Werkzeug zur qualitativen und quantitativen Beurteilung des swissALTI<sup>3D</sup> als Grundlage für Berechnungen im Rahmen der Glaziolo-

gie. Der temporale Metadatenlayer ist aber kein Datensatz, dessen Anwendung sich auf die Glaziologie beschränkt. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass dieser Metadatenlayer zukünftig ein zwingendes Hilfsmittel für alle Nutzer sein sollte, welche Oberflächenveränderungen basierend auf den Daten des swissALTI<sup>3D</sup> berechnen und/oder beurteilen. Bedingt durch die verborgene Komplexität der Originaldaten des swissALTI<sup>3D</sup> und den Zusammenhängen zwischen den unterschiedlichen statistischen Kenngrößen des Metadatenlayers kann diese Datenebene nicht als Laienwerkzeug betrachtet werden. Ihre Handhabung bedingt fundierte Kenntnisse in der Herstellung und im Umgang mit Höhenmodellen.

Zukünftig wird mit jedem jährlichen Release des swissALTI<sup>3D</sup> ebenfalls der temporale Metadatenlayer neu berechnet und herausgegeben. Er kann bei der swisstopo bezogen werden.

Es müssen jetzt in der Glaziologie Erfahrungen mit diesem temporalen Metadatenlayer gesammelt werden. Es wäre aber wünschenswert und spannend, auch weitere Fachbereiche, welche sich mit stetigen Oberflächenveränderungen (z. B. Massenbewegungen und Naturgefahren) befassen, in die weitere Diskussion miteinzubeziehen.

#### Dank

An dieser Stelle möchten wir uns bei der Gruppe «Bildraten und Höhenmodelle» der swisstopo für die fruchtbare Zusammenarbeit und bei der Glaziologie VAW-ETH für die Beurteilung der Metadaten aus der Sicht Glaziologie bedanken. Andreas Baumeler (Digikarto, Zürich) sei für die Durchsicht und Korrektur des Textes und für die fachlichen Diskussionen gedankt.

#### Literatur:

Huss, M., Joerg, P.C., Zemp, M. and Salzmann, N. (2014). High uncertainty in 21st century runoff projections from glacierized basins. *Journal of Hydrology*, 510, 35-48.

Weidmann, Y. (2015). Anforderungen an die Erfassung der Produkte swissTLM3D, swissALTI3D und SWISSIMAGE der swisstopo. Expertenkommission Kryosphäre Arbeitsgruppe Gletscher.

Gross, M. (2018). Gletscher in Echtzeit beobachten. ETH-News, <https://www.ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2018/08/sommerserie-glamos.html>

swisstopo (2018). swissALTI3D Das hoch aufgelöste Terrainmodell der Schweiz. [https://www.swisstopo.admin.ch/content/swisstopo-internet/de/home/products/height/alti3d/\\_jcr\\_content/contentPar/tabs/items/dokumente/tabPar/downloadlist/downloadItems/846\\_1464690554132.download/swissALTI3D\\_detaillierte%20Produktinfo\\_201802\\_DE.pdf](https://www.swisstopo.admin.ch/content/swisstopo-internet/de/home/products/height/alti3d/_jcr_content/contentPar/tabs/items/dokumente/tabPar/downloadlist/downloadItems/846_1464690554132.download/swissALTI3D_detaillierte%20Produktinfo_201802_DE.pdf)

Hirschmüller, H. (2008). Semi-Global Matching - Motivation, Developments and Applications. Photogrammetric Week 11, 173-184. Wichmann. Photogrammetric Week, 9-13 Sept 2011, Stuttgart, Germany.

Yvo Weidmann  
VAW  
ETH Zurich  
CH-8092 Zürich  
[weidmann@vaw.baug.ethz.ch](mailto:weidmann@vaw.baug.ethz.ch)

Florian Gandor  
Roberto Artuso  
swisstopo  
CH-3084 Wabern  
[Florian.Gandor@swisstopo.ch](mailto:Florian.Gandor@swisstopo.ch)  
[Roberto.Artuso@swisstopo.ch](mailto:Roberto.Artuso@swisstopo.ch)