

**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:** Erstellung eines landesweiten digitalen Oberflächenmodells aus  
operationellen Stereo-Luftbildern

**Autor:** Ginzler, Christian / Hobi, Martina

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-513916>

### **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:** 18.02.2026

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

# Erstellung eines landesweiten digitalen Oberflächenmodells aus operationellen Stereo-Luftbildern

Neben Airborne Laserscanning (ALS) bieten Stereo-Luftbilder eine sehr effiziente Möglichkeit, um über grosse Gebiete 3D-Informationen zu gewinnen. Sind Luftbilder für spezielle Anwendungen schon erstellt, so kann mittels Bildkorrelation ein Mehrwert geschaffen werden, ohne eine zusätzliche Befliegung durchzuführen. Im Rahmen des Schweizerischen Landesforstinventars LFI ([www.lfi.ch](http://www.lfi.ch)) wurde ein Workflow entwickelt, um aus den operationellen ADS80 Bildstreifen der swisstopo ein landesweites, flächendeckendes digitales Oberflächenmodell (DOM) zu rechnen. Dieses DOM wird mit neuen Bildern jährlich für 1/6 der Schweiz aktualisiert.

*A part le scannage laser aéroporté (Airborne Laserscanning ALS) les images stéréo aériennes représentent une très efficace possibilité pour acquérir des informations 3D sur de très grandes régions. Si des images aériennes existent déjà pour des applications spéciales on peut créer une plus-value moyennant une corrélation d'images sans pour autant faire un nouveau vol. Dans le cadre de l'Inventaire forestier national suisse IFN ([www.lfi.ch](http://www.lfi.ch)) on a développé un workflow permettant de calculer à partir des bandes d'images opérationnelles ADS80 de swisstopo un modèle numérique de surface (MNS) couvrant l'ensemble du territoire suisse. Ce MNS est actualisé chaque année par de nouvelles images pour 1/6 de la Suisse.*

Le fotografie aeree stereo costituiscono, unitamente al sistema di Airborne Laserscanning (ALS), uno strumento molto efficiente per ottenere informazioni 3D di aree estese. Se le foto aeree sono già state realizzate per delle applicazioni speciali, attraverso la correlazione dell'immagine è possibile estrapolare un valore aggiunto senza dover effettuare ulteriori voli. Nell'ambito dell'inventario forestale nazionale (IFN) ([www.lfi.ch](http://www.lfi.ch)) si è sviluppato un workflow per calcolare, partendo dalle strisce aeree operative digitali ADS80 di swisstopo, un modello digitale della superficie (DOM) di tutto il territorio. Questo DOM è aggiornato ogni anno con nuove immagini per 1/6 della Svizzera.

Ch. Ginzler, M. Hobi

Digitale Oberflächenmodelle (DOM) sind heute eine wichtige Datengrundlage, um natürliche Ressourcen grossflächig und mit hoher räumlicher Auflösung abschätzen zu können. In Wäldern zum Beispiel erklärt die Höhe der Bäume und der Bestände einen beträchtlichen Teil des vorhandenen Holzvolumens und der Biomasse. Aus der Variabilität der Höhen können Waldstrukturen und Merkmale

für Habitats-Charakterisierungen berechnet werden. Werden Oberflächenmodelle landesweit gerechnet, so können Ressourcenabschätzungen nicht nur im Wald, sondern auch in der offenen Landschaft und in urbanen Gebieten gemacht werden.

Für die grossflächige Erfassung von hochaufgelöster 3D-Information stehen uns heute zwei Verfahren zur Verfügung: aktive Sensoren, wie LiDAR, und passive optische Sensoren, wie Luftbildkameras oder Satellitensensoren. LiDAR hat den

Vorteil, dass der ausgesendete Licht-Puls die Vegetation durchdringen kann und neben der Oberfläche auch Strukturen unter der Vegetation erfasst werden können. Die Punktwolke aus LiDAR Befliegungen erlaubt somit eine Analyse der Oberfläche, der vertikalen Vegetationsstruktur und des Geländes. Optische Stereoverfahren sind auf die Abbildung der Oberfläche beschränkt. Das heisst, es können nur sichtbare Bildinhalte korreliert werden, um aus überlappenden Bildern die dritte Dimension zu rechnen. Ist jedoch ein hochaufgelöstes Geländemodell vorhanden (z.B. aus einer bereits vorhandenen LiDAR Befliegung), so kann für jeden Punkt des Oberflächenmodells aus der Stereokorrelation die Höhe über Grund aus der Subtraktion der Oberflächendaten und dem Geländemodell ermittelt werden. Dies erlaubt dann auch die Berechnung eines Vegetationshöhenmodells (VHM) für spezifische Anwendungen in bewaldeten Gebieten.

Swisstopo befliegt die Schweiz für die Nachführung des Topographischen Landschaftsmodells (TLM) und des digitalen Orthophotomosaiks SWISSIMAGE in einem Zyklus von drei Jahren. Im Rahmen des Landesforstinventars Schweiz LFI wurden aus den Bildstreifen der Sommerbefliegungen digitale Oberflächenmodelle mit einer Auflösung von 1x1 m für die gesamte Schweiz gerechnet.

## Bilddaten

Um eine landesweite Abdeckung mit Sommerdaten zu erreichen, wurden Bildstreifen von 2007–2012 verwendet. In dieser Zeit wurden von swisstopo drei unterschiedliche Varianten des ADS Sensors eingesetzt. Im Jahr 2007 war noch der Sensor ADS40-SH40 im Einsatz, ab 2008 wurden die Sensoren ADS40-SH52 und ADS80-SH82 verwendet. Die mittlere Auflösung am Boden ist im Jura, dem Mittelland, den Voralpen und in den Alpentälern ~25 cm, in den Alpen ~50 cm. Der Sensor zeichnet simultan in verschiedenen Blickwinkeln auf, sodass die entstehenden Bildstreifen stereoskopisch ausgewertet werden können. Die abso-



lute Orientierung der Bildblöcke wurde von swisstopo durchgeführt. Für das Jahr 2007 wurden für die Bildkorrelation eine Kombination aus RGB und Pan Bildstreifen, ab 2008 CIR-CIR Bildpaare verwendet.

## Bildkorrelation

Für die Bildkorrelation wurde das Module NGATE (Next Generation Automatic Terrain Extraktion) der Software SocetSet von BAE Systems verwendet. Der Algorithmus kombiniert flächen- und merkmalsbasierte Korrelationen zweier Bildstreifen. Es wurden auch andere Methoden und Software getestet – die Verwendung von SocetSet in Kombination mit den ADS-Stereostreifen erlaubte allerdings die beste Kombination aus Geschwindigkeit und Qualität/Vollständigkeit. Zum Einsatz kommen zwei komplementäre Korrelationsstrategien – die erste optimiert für abrupte Höhenunterschiede von Einzelobjekten, wie Bäume oder Waldränder, die zweite optimiert für kontrastarme, homogene Gebiete, wie Wiesen oder Gletscher.

Für eine effiziente Bildkorrelation wurde die Schweiz in 165 000 Kacheln von 500 x 500 m eingeteilt. Jede Kachel wurde mit den Stereo-Abdeckungen der ADS Bildstreifen verschnitten und die Distanz zur Mittellinie der Bildstreifen für jede Kachel gerechnet. Da die ADS Streifen ca. 50 % seitlich überlappen, ist jede dieser Kacheln von bis zu zwei Bildstreifen abgedeckt. Durch die Zentralperspektive kommt es gegen die seitlichen Bildränder zu Verkipungen, daher hatten die zentralen Bildstreifen (kürzeste Distanz zur Nadirlinie) erste Priorität für die Bildkorrelation. Die räumliche Auflösung der 3D-Punktwolke ist 1 Punkt pro Quadratmeter. Bei vollständiger Korrelation würden für jede Kachel 250 000 Punkte resultieren. Als Ziel wurde eine hohe Vollständigkeit von 99.5 % definiert, da eine möglichst kurze Rechenzeit nicht von hoher Priorität war. Bei Nichterreichung der geforderten Vollständigkeit der Korrelation wurde der zweite mögliche Bildstreifen verwendet. Maximal konnten somit

für jede einzelne Kachel vier Bildkorrelationen nach folgendem Schema durchgeführt werden (Abb. 1):

Schritt 1: Korrelation mit dem Nadir-nächsten Bildstreifen und der Strategie für Einzelobjekte

Schritt 2: Korrelation mit dem Nadir-nächsten Bildstreifen und der Strategie für homogene Gebiete

Schritt 3: Korrelation mit dem zweit-zentralsten Streifen und der Strategie für Einzelobjekte

Schritt 4: Korrelation mit dem zweit-zentralsten Streifen und der Strategie für homogene Gebiete

Nach jedem Korrelationsschritt wurde die erzielte Vollständigkeit berechnet. Wurde die geforderte Vollständigkeit von 99.5 % noch nicht erreicht, folgte der nächste Schritt.

Die Verwaltung der Kacheln erfolgte über eine Oracle Datenbank. Solange ein Prozess mit einer Kachel am Laufen war, wurde diese gesperrt, sodass der nächste Prozess eine neue, freie Kachel zugewiesen bekam. Für die Berechnung wurden 16 virtuelle Windows 7 Maschinen (1.2 GHz, 4 GB RAM) auf einem HP ProLiant Rechner parallel verwendet. Dieser greift mittels einer 1Gb Ethernet Verbindung auf die ADS Bildstreifen zu, welche auf einem zentralen Fileserver gespeichert sind.

Die gesamte Rechenzeit für die Fläche der Schweiz betrug ~320 Tage. Die Verteilung auf mehrere Maschinen führte zu einem sehr stabilen Workflow. Einzelne Prozess-Abstürze führten zu einer Verlangsamung, ein Gesamtabsturz konnte jedoch vermieden werden. Das Endpro-

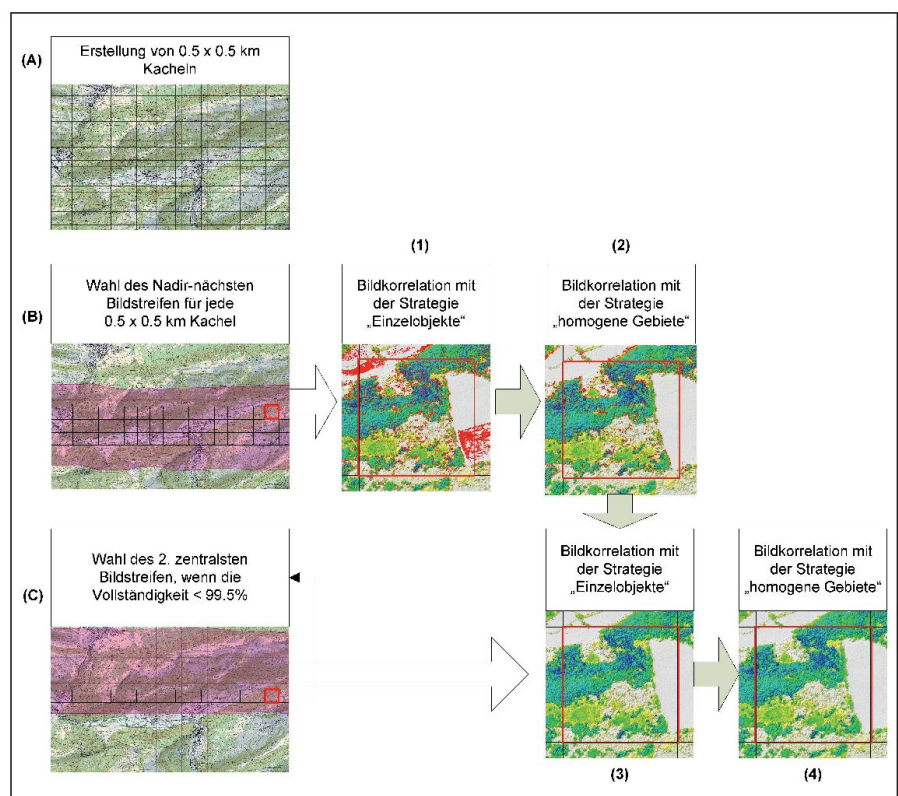


Abb. 1: Arbeitsfluss der Bildkorrelation. (A) Einteilung in 0.5x0.5 km Kacheln; (B) Wahl des Streifens mit der kürzesten Distanz der Nadirlinie zum Zentrum jeder Kachel; (C) Wahl des Streifens mit der 2. kürzesten Distanz der Nadirlinie zum Zentrum jeder Kachel; (1) Ergebnis nach der ersten Korrelation. Die roten Gebiete konnten nicht korreliert werden - die Vollständigkeit ist nicht erfüllt; (2) - (4) weitere Korrelationen mit anderen Strategien und Bildstreifen. Die Zahl der korrelierten Punkte nimmt mit jedem Schritt zu. In diesem Beispiel von 84 % - 91 % - 96 % - 96 % (nach Ginzler & Hobi 2015).



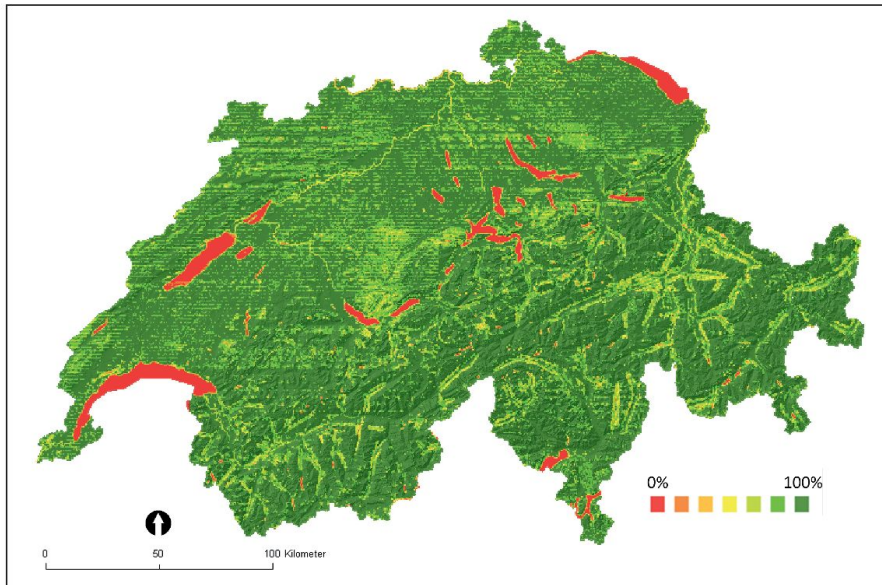


Abb. 2: Vollständigkeit der Bildkorrelation. Seen und Flüsse können nicht stereokorreliert werden. Wurden für manche Gebiete zwei benachbarte Bildstreifen für die Korrelation verwendet, so konnte die Vollständigkeit erhöht werden. Die geringere Vollständigkeit in den Alpentälern ist durch die schwierigere Korrelation bei Wäldern an steilen Hängen erklärbar.

dukt der Bildkorrelation waren 3D-Punktwolken im LAS Format für jede Kachel. Die einzelnen Datensätze wurden zu einem landesweiten digitalen Oberflächenmodell (DOM) mit einer Auflösung

von 1 x 1 m mosaikiert. Für jeden einzelnen Punkt sind die Informationen zur Korrelationsgüte, dem verwendeten Bildstreifen, der Distanz zur Nadirlinie des Bildstreifens und der verwendeten Korre-

lationsstrategie abgespeichert. Über die Metadaten des Bildstreifens ist auch das Aufnahmedatum bekannt.

## Ergebnis

Die Bildkorrelation über die ganze Schweiz war erfolgreich. Durch die ausgezeichnete radiometrische Qualität der ADS80 Bilddaten sind auch in Schattengebieten und Schneefeldern noch genügend Informationen vorhanden, um eine erfolgreiche Korrelation durchzuführen. Die mittlere Vollständigkeit der Kacheln beträgt 97,9 %, das heisst, es konnten über 40 Milliarden Punkte erfolgreich aus den Stereobildern berechnet werden (Abb. 2).

Das Vegetationshöhenmodell (VHM) wurde aus der Differenz zwischen dem stereoskopischen DOM und swissALTI3D Geländemodell berechnet (Abb. 3). Für eine Genauigkeitsabschätzung wurden Höhenvermessungspunkte der swisstopo (n=198) und unabhängige Stereohöhenmessungen mit Klassierung der Bodenbedeckung des Schweizerischen Landesforstinventars verwendet. Der RMSE (Root Mean Square Error) der Differenzen

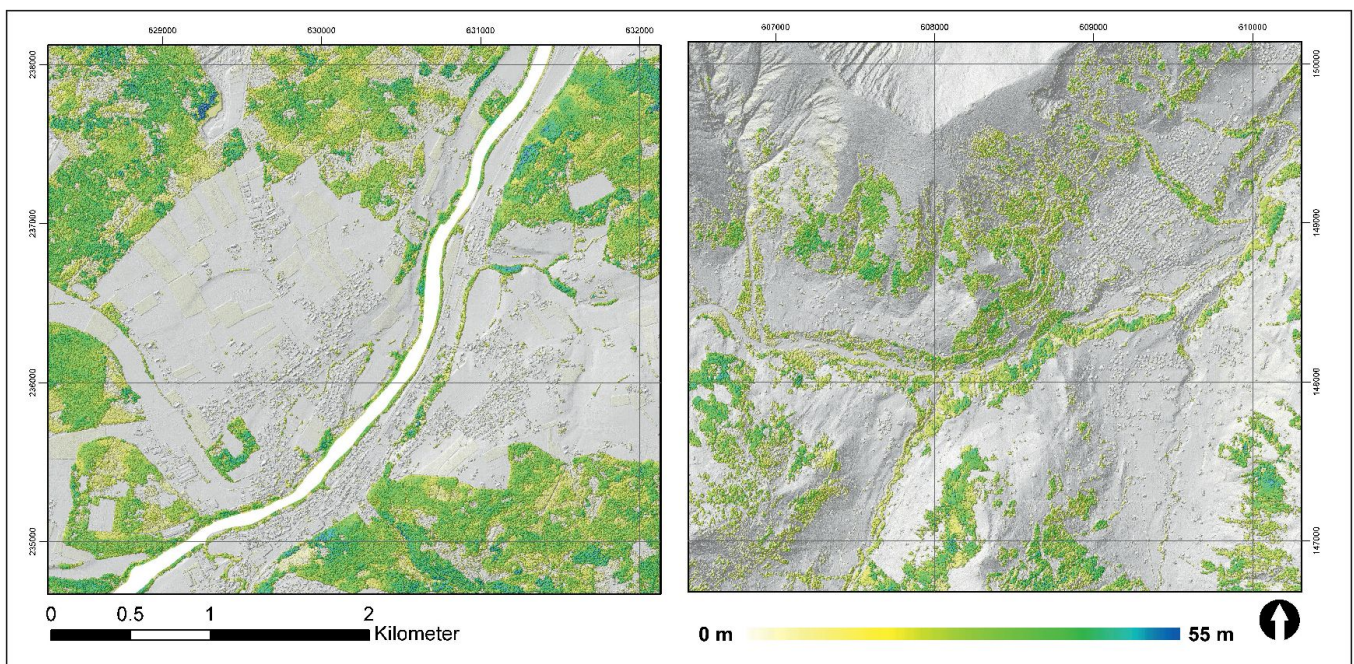


Abb. 3: Beispiele des Vegetationshöhenmodells (VHM), berechnet aus dem digitalen Oberflächenmodell der Stereokorrelation und dem Geländemodell swissALTI3D der swisstopo. Links ein Ausschnitt aus dem Mittelland, rechts ein Ausschnitt an der oberen Waldgrenze.



der Höhenpunkte und des DOMs beträgt 1.5 Pixel (0.34 m bei Bildstreifen mit 25 cm Bodenauflösung und 0.81 m bei Bildstreifen mit 50 cm Bodenauflösung). Für unterschiedliche Bodenbedeckungen liegen die Differenzen (Median) zwischen -0.13 m (Kraut-/Gras) und -0.08 m (Nadelbäume). Der RMSE bei Nadelbäumen (n=24 925) liegt bei 4.21 m. Detailliertere Angaben zu den Genauigkeiten können in Ginzler & Hobi (2015) nachgelesen werden.

## Schlussfolgerungen

Die Bildkorrelation der ADS80 Bildstreifen der swisstopo ist operationell mit einem sehr hohen Automatisierungsgrad

machbar. Mit einem beträchtlichen Rechenaufwand kann eine sehr hohe Vollständigkeit der 3D-Punktwolke erreicht werden. Werden allerdings Höheninformationen, zum Beispiel nach Schadeneignissen wie Sturm oder Borkenkäferbefall, rasch benötigt, so kann bei geringer Reduktion der Vollständigkeit die Rechenzeit mehr als halbiert werden. Für 1/6 der Schweiz nimmt swisstopo jährlich neue ADS80 Bildstreifen auf. Dies bedeutet, dass für mehr als die Hälfte der Landesfläche bereits Höheninformationen verschiedener Zeitstände vorliegen. Methoden für die robuste Detektion von Veränderungen werden aktuell an der WSL entwickelt (z.B. Wang et al. 2015).

## Literatur:

Ginzler, C.; Hobi, M.L., 2015: Countrywide Stereo-Image Matching for Updating Digital Surface Models in the Framework of the Swiss National Forest Inventory. *Remote Sens.*, 7, 4343-4370.

Wang, Z.; Ginzler C.; Waser L.T., 2015: A novel method to assess short-term forest cover changes based on digital surface models from image-based point clouds, *Forestry*, doi:10.1093/forestry/cpv012

Christian Ginzler

Martina Hobi

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft

Zürcherstrasse 111

CH-8903 Birmensdorf

christian.ginzler@wsl.ch



GEOBOX AG · Technoparkstrasse 2 · 8406 Winterthur  
044 515 02 80 · info@geobox.ch · www.geobox.ch



AUTODESK  
AUTOCAD MAP 3D 2014

AUTODESK  
INFRASTRUCTURE DESIGN SUITE  
STANDARD 2014



Ihr kompetenter Partner im schweizer GIS-Markt mit  
Autodesk Produkten und eigenen GEOBOX Fachschalen