

**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:** 111 (2013)

**Heft:** 9

**Artikel:** Automatische Berechnung einer nationalen Gehölzmaske

**Autor:** Boesch, R. / Ginzler, Ch.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-346992>

#### **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:** 11.01.2026

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

# Automatische Berechnung einer nationalen Gehölzmaske

Die Datenerfassung im Schweizerischen Landesforstinventar (LFI) setzt sich aus mehreren Erfassungsschritten zusammen. Primär handelt es sich um eine terrestrische systematische Stichproben-Inventur. Vorgängig zur terrestrischen Erhebung wird eine Luftbildinterpretation durchgeführt, sodass anhand der stereoskopischen Luftbildauswertung entschieden werden kann, ob die Stichprobe im Wald liegt, da nur solche terrestrisch erhoben werden. Für die statistische Auswertung auf grossregionaler und nationaler Ebene genügt diese Erhebungsmethodik. Dagegen ist der Schätzfehler für kleinräumige Auswertungen sehr gross. Zur Ergänzung der bestehenden Stichproben-Inventur werden aus den vorhandenen nationalen Luftbildern und Höhenmodellen auch flächenhafte Produkte erzeugt. In erster Priorität wird eine nationale Gehölzmaske für den Zeitraum 2008–2011 berechnet.

*La saisie des données dans l'Inventaire forestier national (IFN) est composée de plusieurs étapes. En particulier il s'agit d'un inventaire terrestre systématique des échantillonnages. Préalablement au levé terrestre on procède à une interprétation des photos aériennes afin de pouvoir décider à l'aide de la restitution des images aériennes stéréoscopiques si l'échantillon se trouve en forêt puisqu'on ne lèvera que celui-ci. Pour l'analyse statistique à l'échelon national ou d'une grande région cette méthode de levé est suffisante. Par contre, l'erreur d'estimation est très grande pour des analyses à petite échelle. Pour compléter l'inventaire des échantillonnages existants on élaborera aussi des produits de surfaces à partir des photos aériennes et des modèles altimétriques nationaux existants. En priorité on calculera un masque de bois national pour la période 2008–2011.*

L'Inventario Forestale Nazionale (IFN) è composto da diverse fasi di rilevamento. In primo luogo si tratta di effettuare un inventario terrestre e sistematico dei campioni. Prima del sondaggio terrestre si effettua un'interpretazione delle riprese aeree in modo tale da poter decidere, in base alla valutazione stereoscopica, se il campione su tali immagini aeree si trovi nel bosco poiché la valutazione può essere rilevata solo per via terrestre. Questo metodo di rilevamento è sufficiente per la valutazione statistica a livello nazionale e delle grandi regioni. Per contro, per i piccoli spazi l'errore di valutazione continua a rimanere troppo grande. Per completare l'inventario esistente dei campioni si sono anche generati dei prodotti superficiali generati da riprese aeree nazionali e modelli altimetrici. Come prima priorità, si calcolerà una maschera delle formazioni legnose nazionali per il periodo 2008–2011.

R. Boesch, Ch. Ginzler

## 1. Ausgangsdaten

Die Prozessierung der Gehölzmaske basiert auf den spektralen und geometrischen Eigenschaften von bereits existierenden digitalen Luftbildern und LiDAR-Daten. Da nationale Datensätze über eine Periode von mehreren Jahren aufgenommen werden, sind diese Rohdaten nie ge-

nügend homogen. Variierende Beleuchtung, unterschiedliche Vegetationsperioden, wechselnde Aufnahmeverfahren und unterschiedliche Vorverarbeitungsschritte führen zwangsläufig zu regional unterschiedlichen Daten. Daher sind zeitlich und räumlich redundante Datensätze notwendig, um den partiellen Ersatz mit besseren Daten aus einem möglichst ähnlichen Zeitraum zu ermöglichen. Für die Berechnung einer Gehölzmaske ist die daraus entstehende zusätzliche Unschärfe

des Aufnahmezeitpunktes von einigen Jahren nicht ideal, aber tolerierbar.

Die hochaufgelösten ADS80/SH52-Bildstreifen des Bundesamt für Landestopografie (swisstopo) sind gesamtschweizerisch verfügbar. Die Schweiz wird in einem 6-Jahresrhythmus während der Vegetationsperiode (Juni–September) beflogen. Zusätzlich wird in einem 6-Jahresrhythmus in der unbelaubten Zeit geflogen, so dass innerhalb von drei Jahren die ganze Schweiz räumlich erfasst ist.

Der erste 6-Jahreszyklus ist noch nicht abgeschlossen, daher müssen auch weniger geeignete Bilder im Frühjahr oder Spätherbst verwendet werden. Für die Berechnung des Kronenhöhenmodells wird das Bodenmodell swissALTI3D verwendet, welches bis 2012 nur bis 2000 m.ü.M. mit einer ausreichenden Genauigkeit zur Verfügung stand. Der nationale LiDAR Datensatz stammt aus den Jahren 2000–2008 und die Datenaufnahme erfolgte mehrheitlich in der laublosen Zeit. Er ist daher für ein repräsentatives Vegetationshöhenmodell nur bedingt geeignet.

Daher wird ein eigenes stereo-korreliertes Höhenmodell folgendermassen erzeugt. Das CIR-Bildmaterial liegt flächendeckend vor und ist in der Periode 2008–2011 für einige Regionen bereits mehrfach vorhanden. Aus den photogrammetrisch und zeitlich besten Bildern wird mittels Stereo-Korrelation ein digitales Oberflächenmodell erzeugt (DOM-ADS80). Das resultierende Oberflächenmodell besitzt eine Rasterweite von 1 m aus den Bildstreifen mit 0.25 m Auflösung und 2 m aus Bildstreifen mit 0.5 m Auflösung. Weiter ist mit dem swissALTI3D ein Kronenhöhenmodell (CHM-ADS80) erstellt worden, welches die wichtigste Grundlage für die Berechnung der Gehölzmaske liefert.

## 2. Methoden

Die Berechnung einer Gehölzmaske direkt aus diesem Kronenhöhenmodell liefert nur bedingt brauchbare Ergebnisse. Die Auflösung reicht nicht aus, um Einzelbäume in Beständen zuverlässig zu erkennen.

Daher muss zusätzlich zum Kronenhöhenmodell CHM-ADS80 auch die lokale Qualität für Oberflächen- und Bodenmodell einbezogen werden. Mit dem Qualitätskriterium soll im vorliegenden Fall verifiziert werden können, ob die Korrelation des Oberflächenmodells erfolgreich war und ob die Punktdichte des swiss ALTI3D genügend gross ist.

Im Falle des DOM-ADS80 erzeugt die Korrelations-Software eine Meta-Informations zu jedem Höhenpunkt, ob dieser aus der Bildkorrelation stammt oder in nicht korrelierbaren Gebieten interpoliert wurde. Interpolierte Höhenpunkte haben eine geringere Zuverlässigkeit. In ca. 9% der korrelierten Fläche können zusammenhängende Gebiete mit Wolken, Wolkenschatten, Wasserflächen, überstrahlte Schneeflächen und sehr steiles Gelände erkannt werden. Mittels einer Formanalyse werden Gebiete mit einer Mindestfläche von 5000 m<sup>2</sup> als signifikante Problemflächen ausgeschieden. Bei Flächen mit signifikant hohem Weiss-Anteil handelt es sich um Bewölkung und in diesem Fall werden die fehlerhaften Gebiete des DOM-ADS80 mit Werten des DOM-LiDAR zu einem synthetischen DOM kombiniert. Das oft verwendete pixelweise Schwellwertverfahren zur Extraktion einer Gehölzmaske direkt aus einem Kronenhöhenmodell liefert bei der vorliegenden Auflösung unbefriedigende Resultate. Auch die in der Gelände-Analyse häufig verwendete lokale Krümmung (2. Ableitung der Höhenwerte in einer 3 x 3 Um-

gebung) eignet sich schlecht, weil sehr viele Artefakte, insbesondere in städtischen Gebieten und bei aufgelockerten Beständen entstehen.

Aus diesem Grund wird mit einem robusteren modell-basierten Ansatz nach Gehölzkränen gesucht. Dabei wird in einem ersten Schritt ein lokales Höhenmaximum in einer 3 x 3 m Umgebung gesucht. Anschliessend wird in einer erweiterten Umgebung mit einer richtungsspezifischen Suchmaske (Abb. 1a, gelb) die Neigung der Höhenwerte entlang der 8 möglichen Suchrichtungen berechnet. Falls in der Suchrichtung mindestens 2 nachfolgende Neigungswerte zwischen 10 und 80 Grad vorkommen, wird die Suchrichtung als potentielle Kronenform klassiert. Falls die Neigungswert-Statistik in mindestens 6 zusammenhängenden Suchrichtungen erfolgreich ist, wird das gefundene Zentrum mit Umgebung als einzelner Kronenschluss definiert. Der empirisch gewählte grosse Wertebereich für zulässige Neigungswerte erlaubt den sehr heterogenen Kronenformen verschiedener Baumarten gerecht zu werden. Kleinere Defekte in der Kronenform können mit dem «mindestens 6 aus 8» Kriterium der Neigungswert-Statistik zugelassen werden (Abb.1a, gelb gestrichelt).

Diese sequentielle Suchstrategie resultiert in einer Punktfolge von Kronenschluss-Zentren. Neben der rein geometrischen Information werden mit einem radial gewichteten Histogramm auch die Spek-

tralwerte des CIR-Luftbildes um das gefundene Kronenzentrum erfasst (Abb. 1b). In einem Plausibilitätstest werden spektrale Ausreisser (Farbsättigung und -helligkeit < 20 %) eliminiert. Die Methode hat nicht den Anspruch einer lückenlosen Einzelbaum-Detektion in Beständen. Dies ist mit den verwendeten Oberflächendaten nicht möglich und für die weiteren Arbeitsschritte zu einer Gehölzmaske auch nicht nötig.

Für die Differenzierung von Vegetation und Gebäuden wird der NDVI im Bereich des Kronenzentrums verwendet. Der optimale Schwellwert wird regional anhand Informationen aus der Luftbildinterpretation des LFI geschätzt. In einem weiteren Schritt müssen die Kronenschluss-Zentren mit einem Gruppierungsverfahren zu Polygonen zusammengefasst werden. Dabei werden alle Punkte zuerst mit einem distanz-abhängigen Kriterium trianguliert. Die maximale Distanz zwischen einzelnen Punkten wird als stark vereinfachte Walddefinition betrachtet. Gemäss der Definition im LFI beträgt die maximale Distanz von Gehölzen bei der Waldbegrenzungslinie 25 m.

Die triangulierten Punktfolgen werden mit der Methode der anschmiegenden Hülle («alpha shapes») zu Begrenzungslinien zusammengefasst. Im Gegensatz zur herkömmlichen konvexen Hülle («convex hull») sind mit «alpha shapes» auch partiell konkav Formen möglich, sodass bei Buchten in der Punktfolge die Fläche nicht überschätzt wird. Neben der eigentlichen Begrenzungslinie werden auch Bestandeslücken erzeugt, welche konform zur gewählten Walddefinition sind.

## 3. Prozessierung

Um die parallele Prozessierung zu vereinfachen, ist die ganze Schweiz in 500 x 500 m grosse Kacheln aufgeteilt worden. Alle Arbeitsschritte erfolgen automatisch und werden mit einer SQL-Tabelle verwaltet. Der einzelne Rechenklient verlangt mittels SQL nach einer freien Kachel zur Berechnung, anschliessend werden

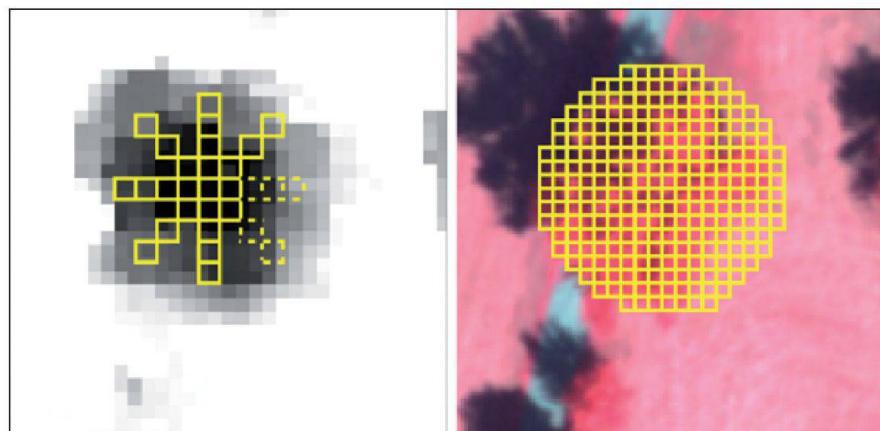


Abb.1: Modell-basierte Suchmaske: links CHM-ADS80 mit radialem Suchmaske, rechts CIR-ADS80 mit radialem Histogramm.

die notwendigen Bilddaten direkt über das Filesystem (NFS) gelesen. Damit keine unerwünschten Randeffekte entstehen (z.B. polygonale Randspalten bei geschlossenen Gehölzflächen), ist bei der modell-basierten Suche nach Gehölzkränen eine Überlappung von 20 m verwendet worden.

Als Resultat werden für jede Kachel ein Punkt-Vektordatensatz mit Gehölzkränen und ein Polygon-Vektordatensatz mit der Gehölzbegrenzungslinie (Gehölzmaske) erzeugt. Ausgehend von ca. 15 TBytes Bild- und Oberflächendaten und einem Zeitschnitt von 2008–2011 dauert die vollständige Berechnung mit 30 Prozessoren etwa acht Tage.

## 4. Resultate

In Abbildung 2 sind die fast vollständige Gehölzmaske und drei repräsentative Ausschnitte dargestellt. Als Hintergrund



Abb. 3: Stichproben «NichtWald» (gelb) im Vergleich mit der Gehölzbegrenzungslinie (violett).

ist zum qualitativen Vergleich das Orthophotomosaik SWISSIMAGE der swisstopo eingeblendet. Zur Verifikation der Gehölzbegrenzungslinie ist der Wald-Entscheid der Luftbildinterpretation des LFI verwendet worden (primär anhand des Deckungsgrades der Punkteraster-Information wird entschieden, ob die Stichprobe im Wald oder ausserhalb liegt).

Ein Vergleich mit der manuellen Interpretation (Tab. 1) ergibt eine User Accuracy von 94%, aber bei genauer Betrachtung der 132 NichtWald-Stichproben zeigt sich, dass die Resultate der Luftbildinter-

pretation und die Gehölzmaske nur beschränkt vergleichbar sind.

In diesen Fällen ist das Stichprobenzentrum der Luftbildinterpretation zwar innerhalb der Gehölzbegrenzungslinie, aber gemäss der LFI-Anleitung für die Luftbildinterpretation ist die Waldbreite an dieser Stelle zu klein und wird als NichtWald beurteilt (Abb. 3).

## Schlussfolgerung

Mit einer Kombination von räumlichen und spektralen Merkmalen von CIR-Luftbildern, verschiedenen Hilfsdatensätzen und vegetations-spezifisch angepassten Verarbeitungsmethoden kann automatisch eine nationale Gehölzmaske berechnet werden. Die Evaluation verschiedener Methoden hat gezeigt, dass der räumliche (stereoskopische) Informationsgehalt beim CIR-Luftbild wesentlich wichtiger ist als der spektrale Anteil. Die automatische Prozessierungskette erlaubt eine einfache Neuberechnung, falls verbesserte Methoden verfügbar sind oder Teilbereiche der Daten ändern oder neue Zeitschnitte dazukommen. Somit lassen sich vollständige Gehölzmasken mit unterschiedlichen Anforderungen reproduzierbar berechnen.

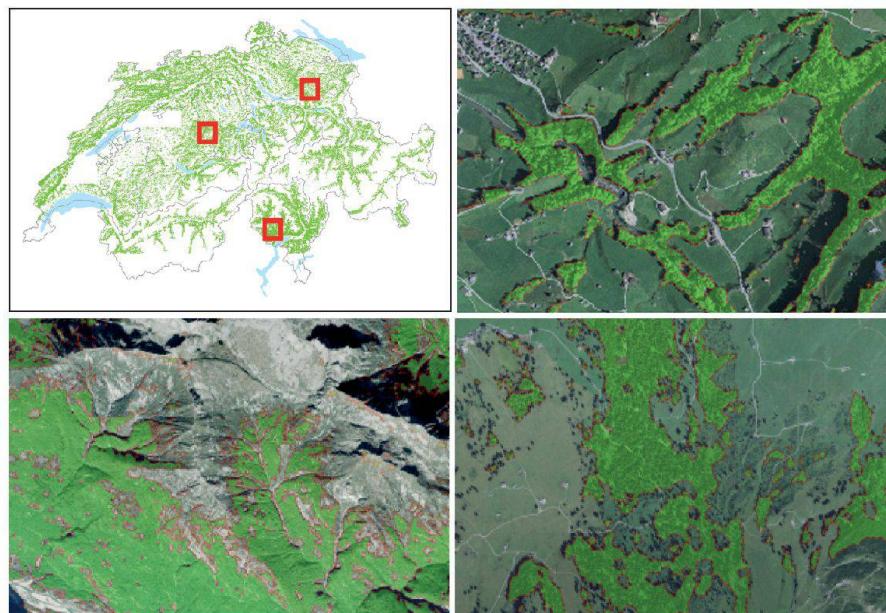


Abb. 2: Gehölzmaske Schweiz mit drei Ausschnitten (Mittelland, Voralpen, Tessin).

	LFI-Luftbild		
	Wald	NichtWald	Total
ADS80-Gehölz	2046	132	2178

Tab. 1: Vergleich Luftbildinterpretation mit Gehölzmaske.

Ruedi Boesch  
Christian Ginzler  
Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL  
Zürcherstrasse 111  
CH-8903 Birmensdorf  
ruedi.boesch@wsl.ch  
christian.ginzler@wsl.ch