

**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:** Kantonsweite und einheitliche Klassifikation der horizontalen und  
vertikalen Waldstruktur

**Autor:** Leiterer, Reik / Rinderknecht, P. / Morsdorf, Felix

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-513917>

### **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:** 28.04.2026

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

# Kantonsweite und einheitliche Klassifikation der horizontalen und vertikalen Waldstruktur

Die Struktur des Waldes ist ein bedeutender Indikator, um Aussagen über den Zustand der Wälder und der darin stattfindenden Prozesse zu treffen. Flugzeuggestütztes Laserscanning (ALS) bietet hierbei die Möglichkeit einer räumlich hochaufgelösten Erfassung und Beschreibung sowohl der horizontalen als auch der vertikalen Waldstruktur. Wir stellen ein robustes Verfahren, basierend auf flugzeuggestützten Laserscanningdaten, vor, um eine Extraktion von forstwirtschaftlich und -wissenschaftlich relevanten Strukturinformationen, z.B. über der Schichtung des Waldes, zu ermöglichen. Vorbehaltlich der Verfügbarkeit einer entsprechenden Datengrundlage (multi-temporale ALS-Daten mit hohen Punktdichten) ist es mit der vorgestellten Methode möglich, eine grossflächige und operationelle Waldstrukturklassifikation durchzuführen.

*La structure de la forêt est un indicateur important permettant d'évaluer son état et les processus qui s'y déroulent. A cet effet le scannage laser aéroporté offre la possibilité d'une saisie spatiale à haute résolution et d'une description de la structure de la forêt aussi bien en élévation qu'horizontale. Nous présentons un procédé robuste basé sur des données de scannage laser aéroporté afin de permettre une extraction d'informations relevant de l'économie et de la science forestières, p.ex. en ce qui concerne la stratification de la forêt. Sous réserve de la disponibilité d'une base de données adéquate (données ALS multi-temporelles avec haute densité des points) il est possible de procéder à l'aide de la méthode présentée à une classification opérationnelle et de grande envergure de la structure de la forêt.*

La struttura del bosco è un indicatore significativo quando si intende realizzare un'analisi sullo stato delle foreste e dei processi che avvengono nel loro interno. L'airborne laserscanning (ALS) offre la possibilità di effettuare un rilevamento e una descrizione ad alta risoluzione spaziale della struttura sia orizzontale che verticale del bosco. Qui di seguito provvediamo a presentare un processo valido, basato sui dati dell'airborne laserscanning, che consente un'estrazione di informazioni strutturali importanti dal punto di vista sia forestale che scientifico, per esempio sulla stratificazione della foresta. Su riserva della disponibilità della relativa base dati (dati ALS multitemporali con alta densità di punti), con il metodo presentato è possibile allestire una classificazione operativa su vasta scala della struttura della foresta.

R. Leiterer, P. Rinderknecht, F. Morsdorf

Die Ressource Wald ist aus ökologischer und ökonomischer Sicht von besonderer Bedeutung. Wälder liefern nicht nur den nachwachsenden Rohstoff Holz und fungieren als Wasser-Regulatoren, sondern werden auch intensiv als Freizeit- und

Erholungsraum genutzt, spielen eine signifikante Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf und haben grossen Einfluss auf die Biodiversität und den Erhalt der Artenvielfalt. Insbesondere die Waldstruktur ist hierbei ein bedeutender Indikator, um Aussagen über den Zustand der Wälder und der darin stattfindenden Prozesse zu treffen.

## Flugzeuggestütztes Laserscanning für die Erfassung der Waldstruktur

Die Erfassung der Waldstruktur war bisher mit verschiedenen Einschränkungen verbunden. Erhebungen im Feld sind zeitintensiv, zum Teil subjektiv und in der räumlichen Ausdehnung eingeschränkt. Traditionelle Fernerkundungsmethoden ermöglichen zwar die Ableitung flächendeckender Informationen, sind aber nur bedingt geeignet, um die vertikalen Strukturen des Waldes zu beschreiben (Wulder et al. 2012).

In den letzten Jahren sind zunehmend hochaufgelöste, flugzeuggestützte Laserscanningdaten (engl. *Airborne Laser Scanning* – ALS) verfügbar geworden, deren Anwendbarkeit in Hinblick auf die Erfassung sowohl horizontaler als auch vertikaler Waldstrukturvariablen bereits in zahlreichen Studien nachgewiesen wurde (Morsdorf 2011). Die horizontale Waldstruktur kann durch die Variabilität der Baumhöhen oder durch die Zusammensetzung der Baumarten in einem definierten räumlichen Ausschnitt beschrieben werden, während die vertikale Waldstruktur primär durch eine Stratifikation der Vegetationsschichten erfasst wird. Eine Übertragung von Methoden zur Waldstrukturerefassung auf grossflächige, operationelle Anwendungsbereiche findet bislang aber nur vereinzelt statt.

## Laserscanningdaten für 1400 km<sup>2</sup> im Kanton Aargau

Der Kanton Aargau hat 2014 kantonsweite ALS-Kampagnen (mit einem RIEGL LMS-Q680i Scanner) im Frühjahr und im Sommer durch MILAN Geoservice GmbH durchführen lassen. Die unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte ermöglichen eine Beurteilung der Vegetation sowohl im belaubtem als auch im laubfreien Zustand. Durch die Befliegung unter laubfreien Bedingungen konnte zudem ein hochgenaues digitales Geländemodell erstellt werden, welches unter anderem

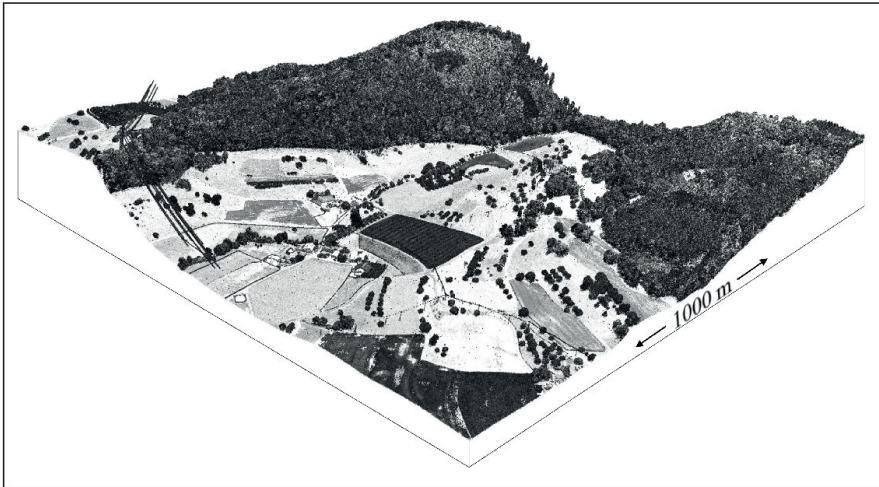


Abb. 1: Punktwolke der Ausläufer des Thiersteinberges (Gemeinde Gipf-Oberfrick, AG). Es ist die Information X, Y, Z und Intensität (Graustufen) für jedes Echo dargestellt.

für die Berechnung von korrekten Vegetationshöhen essentiell ist. Die ALS-Daten liegen in Form einer Punktwolke vor, mit einer Punktdichte von 15 bzw. 30 Laserechos/m<sup>2</sup> (laubfrei/belaubt). Jeder Punkt ist durch eine exakte X- und Y-Koordinate und durch einen Höhenwert Z beschrieben und repräsentiert die Reflexion des ausgesendeten Laserpulses durch ein Objekt, zum Beispiel ein Blatt oder einen Ast. Die Punkte haben eine Lagegenauigkeit von ca. ± 25 cm und eine Höhengenaugigkeit von ± 10 cm. Abbildung 1 zeigt einen 1x1 km grossen Aus-

schnitt der Punktwolke, wobei die Helligkeit der Punkte die Stärke des zurückgestreuten Signals darstellt.

### Ableitung der Waldstrukturvariablen

Die Analyse der Punktwolke erfolgte in einem regelmässigen Raster. Für jede Rasterzelle wurden die entsprechenden Punkte der Punktwolke extrahiert und deren räumliche Verteilung (horizontal und vertikal) in der Kombination beider Aufnahmezeitpunkte, aber auch unab-

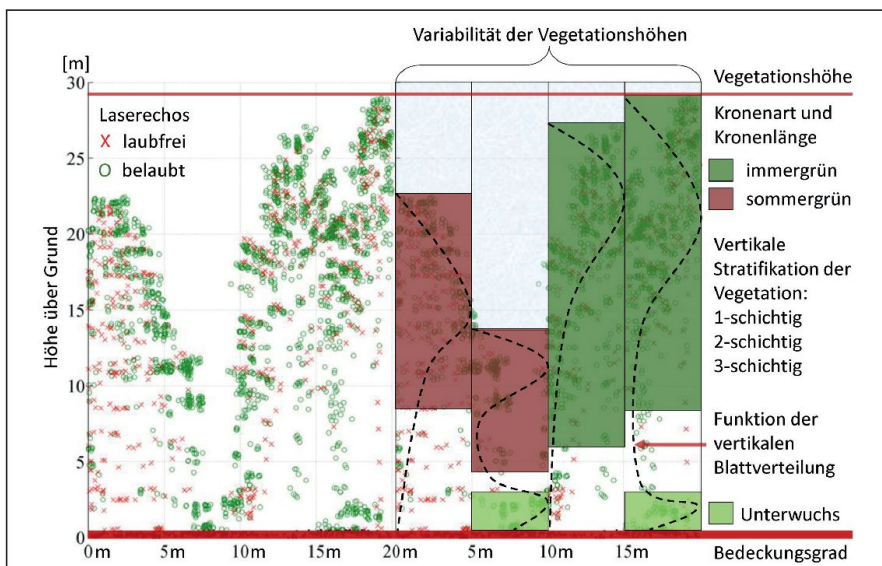


Abb. 2: Ableitung von Waldstrukturvariablen, basierend auf der ALS-Punktwolke.

hängig voneinander, statistisch ausgewertet. Die Auswertung erfolgte zum einen direkt auf der Punktwolke und zum anderen auf dem Histogramm der vertikalen, prozentualen Verteilung der Punkte. Das Histogramm kann hierbei als eine Funktion der durch ALS erfassten vertikalen Blattverteilung angesehen werden. Die abgeleiteten Waldstrukturvariablen umfassen neben geometrischen Variablen (z.B. Vegetationshöhe oder Kronenlänge) auch biophysikalische Variablen (z.B. Bedeckungsgrad). Darüber hinaus können Vorkommen und Höhe des Unterwuchses erfasst und Aussagen über die Veränderung des Kronenbereiches zwischen Frühjahr und Sommer getroffen werden. Abbildung 2 zeigt schematisch die für den Kanton Aargau abgeleiteten Waldstrukturvariablen.

### Klassifikation der Waldstruktur

Die abgeleiteten Waldstrukturvariablen wurden anschliessend in diskrete Klassen eingeteilt, um die Vergleichbarkeit zu den bisher in der Forstinventur und dem Waldmanagement gebräuchlichen Strukturinformationen zu gewährleisten. Die Klassifikation der Vegetationshöhen orientierte sich an den vom Kanton Aargau vorgegebenen Höhenbereichen der Baumentwicklungsstufen (z.B. Jungwuchs, Stangenholz oder Baumholz). Da die ermittelte Vegetationshöhe in steileren Hanglagen nicht direkt mit der Baumhöhe gleichgesetzt werden kann (z.B. Kronenverschiebung in Talrichtung), ist hierbei eine vereinzelt Überschätzung der Entwicklungsstufe möglich. Die Kronenlängen wurden in lange, mittlere und kurze Kronen klassifiziert. Basierend auf der Veränderung des Kronenbereiches zwischen Frühjahr und Sommer erfolgte die Unterscheidung in sommergrüne und immergrüne Vegetation. Der Bedeckungsgrad wurde in die Klassen >75 % Bedeckungsgrad, 50–75 % Bedeckungsgrad und <25 % Bedeckungsgrad eingeteilt. Für die Variabilität der Vegetationshöhen wurden die Spannweite und die Stan-

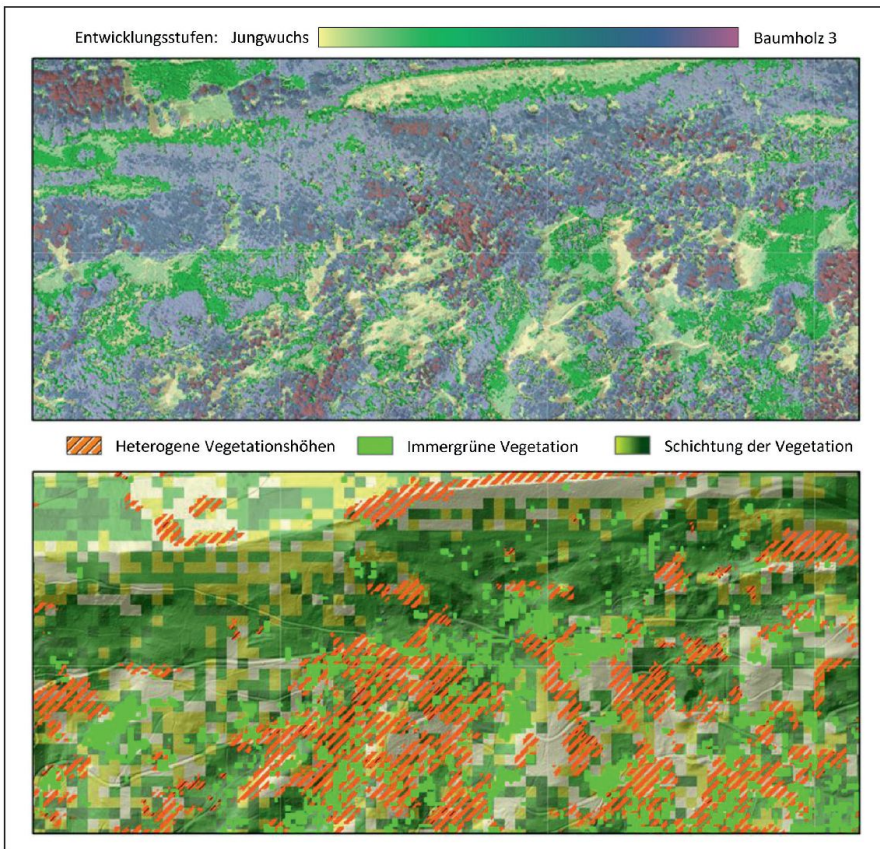


Abb. 3: Klassifikation der Waldstruktur im Bereich der Lägern (Gemeinde Wettingen, AG).



Abb. 4: Automatisierte Ableitung von Polygonen strukturell homogener Waldeinheiten (Rot) in Überlagerung mit den Polygonen der Bestandeskarte des Kantons Aargau (Grün).

Standardabweichung der Vegetationshöhen, basierend auf einem Raster mit einer Zellgröße von 20x20 m, berechnet. Mittels einer Schwellwertmethode konnten diese Werte anschliessend in die Klassen «heterogene Vegetationshöhen» und «homogene Vegetationshöhen» eingeteilt werden. In Abbildung 3 ist eine Auswahl der berechneten Waldstrukturvariablen für einen Ausschnitt der Lägern (Gemeinde Wettingen, AG) visualisiert. Eine Validierung der berechneten Strukturvariablen war aufgrund der thematischen Komplexität nur bedingt möglich. Für Strukturvariablen, die direkt aus den Laserscanningdaten abgeleitet wurden, wie zum Beispiel die maximalen Vegetationshöhen und deren Variabilität in der Fläche, entspricht die Genauigkeit der Höhenmessungen der Messgenauigkeit des Sensors. Die Validierung des Bedeckungsgrades erfolgte innerhalb einer Testregion, basierend auf der Auswertung digitaler hemisphärischer Fotografien mit der Software CAN-EYE ([www6.paca.inra.fr/can-eye](http://www6.paca.inra.fr/can-eye)) und resultierte in einem Bestimmtheitsmass  $r^2$  von 0.78. Die Unterscheidung in immergrüne und sommergrüne Vegetationseinheiten erreichte eine Übereinstimmung von 89.7 % mit Daten der Forstinventur. Der Unterwuchs (< 3 m) konnte mit einer Zuverlässigkeit von ca. 89 % detektiert werden. Als schwierig erwies sich die Validierung der vertikalen Stratifikation der Vegetation. Aufgrund der z.B. kleinräumlichen Heterogenität der vertikalen Strukturen innerhalb eines räumlichen Ausschnittes, war eine eindeutige Zuweisung zu einer Klasse (1-schichtig, 2-schichtig oder 3-schichtig) nicht für jeden der aufgesuchten Validierungsstandorte möglich. Auch ist die Ansprache der Schichtung im Rahmen der Forsteinrichtung abweichend von der durch Laserscanning möglichen Ausweisung von vertikalen Schichten.

## Automatisierte Ableitung von Waldeinheiten

In einem letzten Schritt erfolgte die Ableitung von strukturell homogenen

Waldeinheiten innerhalb des Softwarepaketes «Definiens Developer» (<http://developer.definiens.com>). Für die Auscheidung der Polygone wurden die Entwicklungsstufenklassen und die Klassifikation der sommergrünen/immergrünen Vegetation verwendet. Die Polygone wurden abschliessend mit allen berechneten Waldstrukturvariablen attribuiert. Abbildung 4 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt der abgeleiteten Polygone in Überlagerung mit der bisher verwendeten Bestandeskarte des Kantons Aargau.

eine Einbindung/Nutzung dieser Informationen in den bestehenden forstwirtschaftlichen Ansätzen gewisse Herausforderungen mit sich bringt. Zudem gilt es, die Extraktion von weiteren Informationen aus den Laserscanningdaten voranzutreiben, z.B. für die Klassifikation von Hauptbaumarten (Torabzadeh et al. 2014) oder die Detektion von Totholz (Leiterer et al. 2013). In diesen experimentellen Studien konnte der Nutzen schon nachgewiesen werden, aber eine grossflächige, operationelle Umsetzung ist bisher noch nicht erfolgt.

Torabzadeh, H., Morsdorf, F., Leiterer, R., & Schaepman, M.E. (2014). Fusing imaging spectrometry and airborne laser scanning data for tree species discrimination. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), art. no. 6946660, 1253–1256.

Wulder, M.A., White, J.C., Nelson, R.F., Næsset, E., Ørka, H.O., Coops, N.C., Hilker, T., Bater, C.W., & Gobakken, T. (2012). LiDAR sampling for large-area forest characterization: A review. Remote Sensing of Environment, 121, 196–209.

### Die nächsten Schritte der Waldstrukturklassifikation

Die Ergebnisse der Studie zeigen die Vielfalt an Waldstrukturinformationen, welche mit flugzeuggestütztem Laserscanning abgeleitet werden können. Die Validierung zeigt, dass die Ableitung der Strukturvariablen eine hohe Zuverlässigkeit aufweist, aber auch, dass eine Interpretation bestimmter Strukturvariablen (vertikale Stratifikation) schwierig ist und

*Referenzen:*

Leiterer, R., Mücke, W., Morsdorf, F., Hollaus, M., Pfeifer, N., & Schaepman, M.E. (2013). Flugzeuggestütztes Laserscanning für ein operationelles Waldstrukturmonitoring. Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, 3, 173–184.

Morsdorf, F. (2011). Erfassung struktureller Waldparameter mithilfe von flugzeuggetragem Laserscanning. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 162 (6), 164–170.

Reik Leiterer  
Felix Morsdorf  
Remote Sensing Laboratories  
Universität Zürich  
CH-8057 Zürich  
reik.leiterer@geo.uzh.ch

P. Rinderknecht  
Department Bau, Verkehr und Umwelt,  
Kanton Aargau  
Department Bau und Umwelt,  
Kanton Thurgau

## Wer abonniert, ist immer informiert!

Geomatik Schweiz vermittelt Fachwissen – aus der Praxis, für die Praxis



**Jetzt bestellen!**

**Bestellatalon**

Ja, ich **profitiere** von diesem Angebot und bestelle Geomatik Schweiz für:

- 1-Jahres-Abonnement Fr. 96.– Inland (12 Ausgaben)
- 1-Jahres-Abonnement Fr. 120.– Ausland (12 Ausgaben)

Name	Vorname
Firma/Betrieb	
Strasse/Nr.	PLZ/Ort
Telefon	Fax
Unterschrift	E-Mail

Bestellatalon einsenden/faxen an: SIGImedia AG, Pfaffacherweg 189, Postfach 19, CH-5246 Scherz  
Telefon 056 619 52 52, Fax 056 619 52 50, [verlag@geomatik.ch](mailto:verlag@geomatik.ch)