

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 168 (2017)
Heft: 3

Artikel: Automatisierte Bestandesausscheidung auf der Basis von LiDAR-Daten im Kanton Aargau
Autor: Wehrli, Iris
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097479>

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: 01.05.2026

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

Automatisierte Bestandesausscheidung auf der Basis von LiDAR-Daten im Kanton Aargau

Iris Wehrli Abteilung Wald des Kantons Aargau (CH)*

Bisher bedeutete die Erstellung einer Bestandeskarte für die Waldeigentümerinnen und Waldeigentümer im Kanton Aargau einen grossen zeitlichen und finanziellen Aufwand. Mit einer kantonsweiten, automatisierten Bestandesausscheidung auf der Basis von LiDAR-Daten sollen die Lagegenauigkeit verbessert, die Grenz-ziehung objektiviert und der zeitliche Aufwand für terrestrische Aufnahmen minimiert werden. Wie die auto-matisierte Bestandesausscheidung im Kanton Aargau erfolgte, wird vorliegend Schritt für Schritt beschrieben.

doi: 10.3188/szf.2017.0160

* Entfelderstrasse 22, CH-5001 Aarau, E-Mail iris.wehrli@ag.ch

Waldeigentümerinnen und Waldeigentü-mer im Kanton Aargau, welche mehr als 20 Hektaren Wald besitzen, sind verpflich-tet, alle 15 Jahre einen Betriebsplan zu er-stellen. Die Bestandeskarte bildet dazu eine wichtige Grundlage. Der Kanton Aar-gau überprüft und überarbeitet zurzeit im Rahmen des Projekts «Betriebsplan 2020» das Konzept der forstlichen Betriebspla-nung. Bereits beschlossen ist, dass die seit 2003 den Waldeigentümerinnen und Waldeigentümern zur Verfügung gestellte Internetapplikation BKOnline weiterent-wickelt wird (Projekt BKOnline 2.0). In der neuen Applikation soll eine automatisiert erstellte Bestandesausscheidung nicht nur als flächendeckende Informationsebene zur Verfügung stehen, sondern Bestände sollen vom Betriebsleiter bei Bedarf über-nommen, angepasst und in die eigene Be-standeskarte integriert werden können.

Neue technische Möglichkeiten

Mit LiDAR-Daten werden detaillierte Höheninformationen zur Erdoberfläche gewonnen. Da die Laserstrahlen in bewal-deten Gebieten die Kronenoberfläche teilweise durchdringen und bis auf den Boden gelangen, kann neben einem Ober-flächenmodell (DOM) auch ein Terrain-modell (DTM) erstellt werden. Aus der Differenz der beiden Modelle kann die Vegetationshöhe berechnet werden. Das so entstandene Vegetationshöhenmodell

(VHM) dient der Abteilung Wald des Kantons Aargau als Grundlage für die automatisierte Bestandesausscheidung.

Im Feld werden die Bestände traditio-nell aufgrund ihres Oberdurchmessers (d_{dom}), also des Brusthöhendurchmessers (BHD) der 100 stärksten Bäume pro Hektare, in Entwicklungsstufen eingeteilt. Da sowohl bei einer automatisierten Einzel-baumausscheidung als auch bei der Um-rechnung der Baumhöhe in den BHD Un-genauigkeiten entstehen, entschied sich die Abteilung Wald dazu, nicht den d_{dom} mit dem VHM nachzustellen, sondern die Bestände direkt aus den Daten des VHM abzugrenzen. Dies erfolgte durch die räumliche Glättung des VHM mit mor-phologischen Filtern. Die Bestandesaus-scheidung wurde also flächig und nicht auf Basis der Einzelbaumebene vollzogen.

Ein Bestand ist so durch die vorherr-schende Vegetationshöhenklasse und nicht durch den d_{dom} definiert.

Datengrundlagen

Im Jahr 2014 wurden im Kanton Aargau flächendeckend hochaufgelöste LiDAR-Daten erhoben. Die erste Befliegung durch die Firma MILAN fand im März/ April (unbelaubter Zustand), die zweite im Juni/Juli (belaubter Zustand) statt. Die Eckwerte der Befliegung können Tabelle 1 entnommen werden. Mithilfe der Soft-ware TerraScan von TerraSolid wurden die Bodenpunkte der Punktwolke klassiert und mit diesen ein DTM mit einer Raster-Auflösung von 0.5×0.5 m erstellt.

Für die Bestandesausscheidung wur-den weiter GIS-Daten zu den Waldstras-sen und zum Waldeigentum verwendet.

Name	Leaf-on	Leaf-off
Beschreibung	LiDAR-Daten der belaubten Vegetation	LiDAR-Daten der unbelaubten Vegetation
Datenherr	Kanton Aargau	
Format	laz	
Genauigkeit	horizontal: 2.0–15.0 cm, vertikal: 5.0–7.0 cm	
Punktdichte	>10 Pkt./m ²	
Flughöhe über Boden	700 m	600 m
Scanner	LMS-Q680i (Riegl)	
Firma	Milan Geoservice GmbH, DE-03130 Spremberg	
Flugzeit	19.6.–25.7.2014	18.3.–14.4.2014

Tab 1 Eckwerte der LiDAR-Befliegung 2014 im Kanton Aargau.

Das Vegetationshöhenmodell als Zwischenprodukt

Das Vegetationshöhenmodell (Abbildung 1a) wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Zürich mithilfe eines Matlab-Scripts erstellt. Dazu wurden in einem ersten Schritt die beiden Punktdatensätze «unbelaubt» und «belaubt» zusammengefügt. Aus dieser Verdichtung resultierte im Wald eine Punktdichte von über 30 Punkten pro Quadratmeter. In einem zweiten Schritt wurden die Daten normalisiert, also die absolute Höhe von jedem Punkt über der entsprechenden Höhe im DTM ermittelt. In einem dritten Schritt erfolgte die Rasterung des jeweils höchsten Punktes pro Quadratmeter. Um Ausreisser auszuschliessen, wurde dort, wo der nächsttiefere Punkt mehr als 1 m unter dem höchsten lag, der nächsttiefere Punkt genommen. Das Raster des VHM hat eine Auflösung von 1 × 1 m.

Festlegung der Höhenklassen

Das Ziel war es, die Höhenklassen so festzulegen, dass das Resultat der automatisierten Bestandesauscheidung möglichst gut mit einer Bestandeskarte im herkömmlichen Sinn übereinstimmt. Dazu wurden in einem iterativen Prozess jeweils mehrere Varianten mit den im Feld angetroffenen d_{dom} verifiziert. Da sich das Verhältnis zwischen Höhe und BHD je nach Standort, Baumart und waldbaulicher Behandlung unterscheidet, wurde die Klassierung anhand eines typischen Mittellandwaldes des Kantons Aargau (400 m ü. M., wüchsiger Standort) vorgenommen und auf den ganzen Kanton übertragen (Tabelle 2; Abbildung 1b).

Räumliche Glättung

Nachdem jedes Pixel des VHM einer Höhenklasse zugeteilt war, musste das

Entwicklungsstufe	d_{dom} -Klasse	Höhenklasse
Jungwuchs/Dickung	<10 cm	<7 m
Stangenholz 1	10–20 cm	7–14 m
Stangenholz 2	20–30 cm	14–20 m
Baumholz 1	30–40 cm	20–25 m
Baumholz 2	40–50 cm	25–30 m
Baumholz 3	≥50 cm	≥30 m

Tab 2 Gegenüberstellung der traditionellen Klassierung der Entwicklungsstufen mithilfe des Oberdurchmessers (d_{dom}) und der für die automatisierte Bestandesauscheidung verwendeten Klassierung nach Vegetationshöhe.

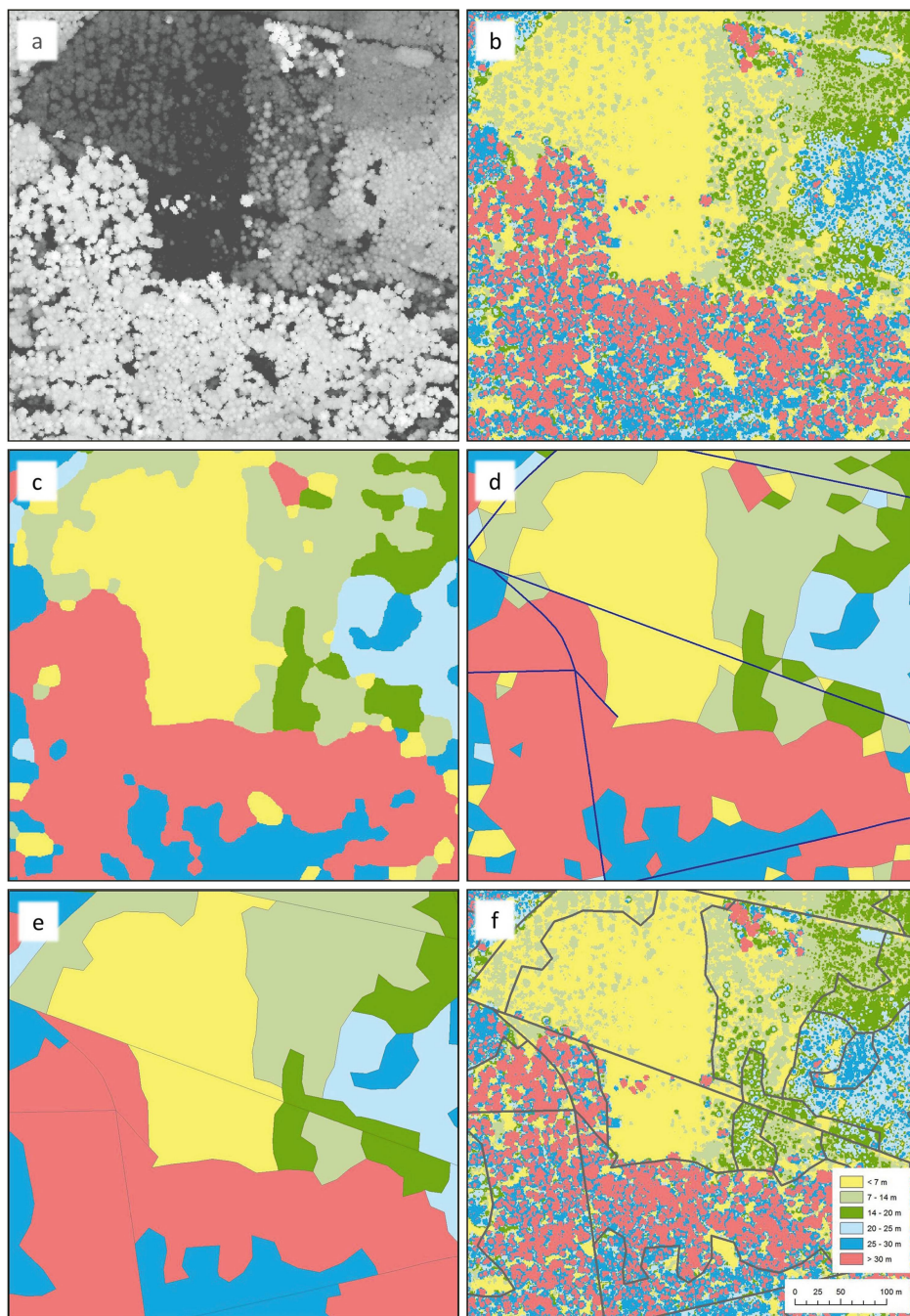


Abb 1 Schritt für Schritt zur automatisierten Bestandesauscheidung. a) Vegetationshöhenmodell. Weiße Rasterpunkte bedeuten hohe Werte, schwarze niedrige. b) Raster der Vegetationshöhenklassen. c) Raster der Höhenklassen nach der räumlichen Glättung mit morphologischen Filtern. d) Polygondatensatz, in welchem die ausgeschiedenen Höhenklassen mit den Waldstrassen verschnitten worden sind. e) Polygondatensatz nach Arrondierung (Elimination von Kleinflächen <20 Aren) = Resultat der automatisierten Bestandesauscheidung. f) Raster der Vegetationshöhenklassen mit überlagerter automatisierter Bestandesauscheidung.

Modell geglättet werden, damit gleiche Höhenklassen in Polygonen zusammengefasst werden konnten. Das Grundprinzip der räumlichen Glättung funktioniert folgendermassen: Rund um Pixel x wird ein quadratisches Fenster mit einer Seitenlänge von 25 Pixeln (= 25 m) gelegt. Innerhalb des Fensters wird gezählt, welche Höhenklasse am häufigsten vorkommt. Im neuen, geglätteten Datensatz übernimmt

dann Pixel x diese Höhenklasse. Nach der Analyse wird das Fenster um ein Pixel verschoben, Pixel x+1 ist nun in der Mitte und übernimmt im geglätteten Datensatz wieder diejenige Höhenklasse, welche innerhalb dieses Fensters am häufigsten vorkommt. Diese Methode (Technik des «Moving Window») wird auf den ganzen Kanton angewendet. Technisch wurde die Glättung mit dem ESRI-Tool «Focal Statis-

tics» und dem Statistiktyp «Majority» umgesetzt. Ein quadratisches Fenster wurde einem kreisförmigen vorgezogen, weil so die Geoverarbeitung bei vergleichbarem Resultat deutlich schneller durchgeführt werden konnte.

Das Vorgehen erklärt, warum die zugewiesene Höhenklasse nicht in jedem Fall der effektiven Bestandesoberhöhe entspricht, denn die Höhe der höchsten Bäume deckt eventuell zu wenig Fläche ab, um sich bei der räumlichen Glättung durchzusetzen.

Wurden Bäume truppweise gepflanzt, führte das Vorgehen oft dazu, dass die Bestände statt dem Stangenholz 1 der Entwicklungsstufe Jungwuchs/Dickung zugewiesen wurden. Um dieses Problem zu beheben, wurde vor der eigentlichen Glättung für die Pixel der Höhenklassen <7 m und 7–14 m eine Vorglättung durchgeführt. Diese funktioniert vom Prinzip her gleich wie die oben Beschriebene, jedoch mit einer Fenstergrösse von 5 × 5 m und der Anpassung, dass das mittlere Pixel bereits ab einem Vorkommen der Höhenklasse 7–14 m von 40% dieser Höhenklasse zugeordnet wird. Dadurch erhält die Höhenklasse 7–14 m bei der Glättung ein höheres Gewicht. Abbildung 1c zeigt das Höhenklassenraster nach der Glättung. Nach der räumlichen Glättung wurde der Rasterdatensatz in einen Polygondatensatz umgewandelt.

Zwingende Bestandesgrenzen

Es gibt zwei Grenzen, die von den Beständen nicht überschritten werden dürfen. Die ersten sind die Eigentumsgrenzen. Da die Bestandausscheidung die Grundlage für die Betriebsplanung bildet und diese eigentümerweise erstellt wird, ergeben Bestände, welche die Eigentumsgrenzen überschreiten, keinen Sinn. Umgesetzt wurde dies, indem die Berechnungen eigentümerweise durchgeführt wurden. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass nicht zu viele Daten auf einmal verarbeitet werden müssen und so der Arbeitsspeicher nicht überlastet wird. Ausserdem kann ein auftretender Fehler schnell lokalisiert und behoben werden, ohne dass die Berechnung für den ganzen Kanton neu gestartet werden muss. Allerdings ist der Prozess dadurch sehr langsam. Die zweiten zwingenden Bestandesgrenzen bilden die Waldstrassen, da sich die Waldbewirtschaftung stark an diesen orientiert.

Elimination von Kleinflächen

Der generierte Datensatz (Abbildung 1d) besteht teilweise aus sehr kleinen Polygonen. Bestände sollen aber eine Mindestfläche von 20 Aren aufweisen. Daher werden im Datensatz diejenigen Polygone, die das Flächenkriterium nicht erfüllen, dem ähnlichsten Nachbarpolygon angehängt. Dazu wird für jedes zu kleine Polygon eine Nachbarschaftsanalyse durchgeführt. Als Verbindungspartner ausgeschlossen werden Polygone, deren Fläche kleiner ist als die des betrachteten Polygons, sowie Polygone, die nur eine sehr kurze gemeinsame Grenzlinie haben. Ebenfalls ausgeschlossen werden Polygone, die auf der anderen Seite einer Waldstrasse liegen. Zuerst wird geprüft, welche Nachbarpolygone eine Höhenklasse haben, die derjenigen des Polygons am ähnlichsten ist. Kommen mehrere Nachbarpolygone als Verbindungspartner infrage, wird dasjenige ausgewählt, das mit dem betrachteten Polygon die längste gemeinsame Grenzlinie hat. Ist der optimale Verbindungspartner gefunden, werden die Flächen zusammengefügt, und die Attribute vom Verbindungspartner werden übernommen. Dieser Prozess läuft so lange, bis alle Polygone das Flächenkriterium von 20 Aren erfüllen. Das Resultat ist die automatisierte Bestandausscheidung (Abbildung 1e).

Fazit

Die Bestandeskartierung ist eine anspruchsvolle Aufgabe, die ein hohes Mass an Generalisierung der vorhandenen räumlichen Informationen verlangt. Eine besondere Herausforderung bilden Grenzfälle, zum Beispiel in Bezug auf die räumliche Abgrenzung eines Bestandes oder die Zuordnung zu einer Entwicklungsstufe. Hier tragen klare Entscheidungsregeln massgebend zu einem einheitlichen, qualitativ hochwertigen Produkt bei. Während Bestandeskarten über lange Zeit durch eine individuelle Ansprache im Gelände und der Interpretation von Luftbildern erstellt wurden, ist heute dank der Verfügbarkeit von LiDAR-Daten und GIS eine automatisierte Bestandausscheidung möglich. Dadurch entfällt die Beurteilung von Grenzfällen weitestgehend, die Lagegenauigkeit verbessert sich, und der zeitliche Aufwand für die terrestrischen Aufnahmen wird minimiert. Zudem werden die Mutation und die Nachfüh-

rung der Bestandeseinheiten künftig mit geringem Aufwand in der BKOnline 2.0 möglich sein, was gute Voraussetzungen für stets aktuelle Bestandesdaten schafft. Eine Feldbegehung zur Überprüfung der Bestandausscheidung sowie zur Ansprache der Baumartenzusammensetzung als weiteres Kriterium für die Abgrenzung von Beständen ist nach wie vor nötig. Die beschriebene erste Version der automatisierten Bestandausscheidung steht seit Ende 2016 zur Verfügung und wird bereits von einigen Forstbetriebsleitern als Basis für die Überarbeitung ihrer eigenen Bestandeskartierung genutzt. Rückmeldungen werden zur Verbesserung der Qualität des Produktes aufgenommen. In Zukunft soll die Applikation BKOnline zudem auf mobilen Endgeräten direkt im Wald genutzt werden können. ■

Délimitation automatique des peuplements sur la base des données LiDAR dans le canton d'Argovie

Les propriétaires forestiers du canton d'Argovie qui possèdent plus de 20 hectares de forêt doivent rédiger tous les 15 ans un plan de gestion de leurs forêts. La carte des peuplements en forme une base essentielle. Avec une délimitation automatique des peuplements sur la base des données LiDAR, à l'échelle du canton, la précision de leur localisation serait améliorée, la délimitation plus objective, les travaux facilités et le temps nécessaire pour les relevés de terrain réduit. Avec le procédé automatique, les peuplements sont délimités par leur hauteur. Dans une première étape, un modèle des hauteurs de la végétation est calculé selon une grille de 1 × 1 m. Chaque pixel est attribué à une classe de hauteur. Par un lissage avec des filtres morphologiques, des surfaces continues avec la même classe de hauteur apparaissent. Des polygones sont dérivés de ces dernières. La surface minimale d'un peuplement comporte 20 ares. Pour remplir cette condition, les plus petits polygones sont attribués aux plus grands et reclassés. Les critères d'attribution sont la similitude dans les classes de hauteur et la longueur de la frontière commune. Les limites de propriétés et les routes forestières sont des limites obligées. Une première version de la délimitation automatique des peuplements est à disposition des gardes forestiers et aux autres parties intéressées depuis la fin 2016.