

Halbautomatische Extraktion bodennaher Vegetation aus Airborne Laserscanningdaten als Grundlage für Orientierungslauf-Karten

Semi-Automatic Extraction of Near-Ground Vegetation from LiDAR Data as Base for Orienteering Maps

Gianreto Schaad

OCAD AG, Baar, Schweiz · grs@ocad.com

Zusammenfassung: Dieser Beitrag befasst sich mit der Analyse der bodennahen Vegetation im Wald. Eine OL-Karte ist eine detaillierte topographische Karte, die zusätzliche Angaben zur Belaufbarkeit des Geländes enthält. Die korrekte Darstellung der Vegetation ist für den Kartographen sehr zeitintensiv. Detailreichere, klassierte und lokalisierte Grundlagen über die Vegetation aus Airborne Laserscanningdaten sollen dem Kartographen bei der Kartierung im Gelände helfen. Dieser Beitrag zeigt, dass anhand von im Gelände erfassten Stichproben das Vegetationsmodell für das Testgebiet berechnet werden konnte. Dieses wurde durch Geländeaufnahmen verifiziert. Das Vegetationsmodell liefert dem Kartographen eine genauere, informativere Grundlage für die anschließende Kartierung im Gelände.

Schlüsselwörter: OL-Karten, Airborne Laserscanning, bodennahe Vegetation

Abstract: *This work deals with the analysis of near-ground vegetation in the forest. An orienteering map is a detailed topographic map that contains additional information about the runnability of the terrain. The correct representation of the vegetation is still time-consuming for the orienteering mapper. More detailed, classified and localized vegetation base maps from LiDAR data helps the orienteering mapper during field work. This work shows that the vegetation model for the test area could be calculated based on samples. This was verified in the terrain. The vegetation model provides the cartographer with a more accurate, more informative base map for the field work.*

Keywords: *Orienteering maps, LiDAR, near-ground vegetation*

1 Einleitung

OL ist ein Sport, bei dem der Athlet mithilfe von OL-Karte und Kompass eine bestimmte Reihenfolge von Kontrollposten in möglichst kurzer Zeit anlaufen muss. Die Route zwischen den Kontrollposten kann frei gewählt werden. Die OL-Karte ist eine detaillierte topographische Karte, die zusätzliche Angaben zur Belaufbarkeit des Geländes enthält. Um die Chancengleichheit bei Wettkämpfen weltweit zu wahren, sind die OL-Karten durch die Internationalen Darstellungsvorschriften ISOM 2000 (International Orienteering Federation, 2000) genormt.

Ein großer Schritt in der Technik der OL-Kartographie erfolgte 2005: Erstmals wurden in der Schweiz Airborne Laserscanning(ALS)-Daten für die Herstellung einer OL-Karte verwendet. Aus dem digitalen Terrainmodell konnten 1-m-Höhenkurven des Geländes und die Reliefschummerung berechnet werden. Diese detailreichen Grundlagen führten zu einer Zeitersparnis bei der Kartenaufnahme im Gelände und zu einem genaueren, besseren Höhenkurvenbild (Lehmann, 2006). Neben den Höhenkurven und der Reliefschummerung bietet die

Vegetationshöhe (Differenz aus dem Oberflächen- und Geländemodell) weitere nutzbare Informationen. Aus den Vegetationshöhen kann man auch Waldränder, Waldlichtungen und sogar Vegetationsgrenzen im Wald extrahieren und kartieren (Schaad, 2009; Gloor, 2013). Unterdessen sind die ALS-Daten als Grundlage für OL-Karten nicht mehr wegzudenken.

Die ALS-Daten erleichterten das Kartieren der Höhenkurven stark und ermöglichen dem OL-Kartographen, ein Gebiet schneller zu kartieren. Hingegen ist die Kartierung der Vegetation nach wie vor sehr zeitintensiv. So sind im Schweizer Mittelland die Wälder in den letzten Jahren dichter und die Grünflächen kleinstrukturierter geworden. Auf OL-Karten wird bei der Kartierung von Vegetation zwischen dichten Baumgruppen und Bodenbewuchs unterschieden. Dichte Baumgruppen, typischerweise Tannen- oder Buchendickichte, werden mit grüner Flächensignatur dargestellt. Der Bodenbewuchs, meist Brombeeren oder Fallholz, wird mit grünen, senkrechten Strichen gezeichnet.

Die Vegetationsdarstellung auf der OL-Karte ist für den Athleten eine sehr wichtige Information, damit er abschätzen kann, wie gut die frei wählbare Route zwischen den Kontrollposten im entsprechenden Gebiet belaufbar ist. Trier (2015) stellte fest, dass die Kartierung der Laufbehinderung durch Vegetation die größte Herausforderung und subjektivste Aufgabe des Kartographen ist. So bieten automatische Methoden die Möglichkeit, den subjektiven Einfluss des Kartographen zu reduzieren und Zeit beim Kartieren im Gelände zu sparen (Trier, 2015).

Das Ziel dieser Arbeit war, Methoden zu entwickeln, mit denen anhand der ALS-Daten Rückschlüsse auf die bodennahe Vegetation gemacht werden konnten. Diese Grundlageninformationen sind für den Kartographen bei der Kartierung im Gelände wichtig und können seine Produktivität erhöhen. Die Überprüfung der Resultate erfolgte anhand eines Testgebietes.







2 Grundlagen

Airborne Laserscanning liefert eine dreidimensionale Punktwolke mit einer großen Menge an Daten. Die Herausforderung ist, aus diesen Geodaten die relevanten Informationen über die Vegetation für die Grundlage einer OL-Karte zu gewinnen.

Als Testgebiet eignet sich der Steinhuserwald im Kanton Zug. Es handelt sich um einen Mischwald mit Laub- und Nadelbäumen. Der Wald hat relativ viel Bodenbewuchs und allgemein eine kleinstrukturierte Vegetation. Vom nördlichen Teil liegen klassierte ALS-Daten des Kantons Zürich vor. Die wurden im März/April 2014 geflogen. Für die Berechnungen wurde ein 500×500 m großes Testgebiet mit 15.2 Mio. ALS-Punkten verwendet (durchschnittlich 66 Punkt/m²), davon 7.35 Mio. Boden- und Vegetationspunkte (Boden 1.65 Mio., Niedrige Vegetation 0.12 Mio., Mittlere Vegetation 0.41 Mio., Hohe Vegetation 5.17 Mio.).

Bei der Kartierung der Vegetation für eine OL-Karte unterscheidet die ISOM 2000 zwischen Bodenbewuchs und Laufbehinderung durch hohe Vegetation. Die entsprechenden Signaturen und deren Bedeutung sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Vegetationssignaturen (International Orienteering Federation, 2000)

Signatur-Nummer	Darstellung	Bedeutung
405		Wald: ohne Laufbehinderung
407		Bodenbewuchs: leichte Laufbehinderung
409		Bodenbewuchs: starke Laufbehinderung
406		Vegetation: leichte Laufbehinderung
408		Vegetation: starke Laufbehinderung
410		Vegetation: sehr starke Laufbehinderung, unpassierbar

Trier (2015) präsentierte neue Methoden zur automatischen Kartierung der Vegetation aus ALS-Daten speziell für OL-Karten. Er führte die Normalized Difference Vegetation Density (NDVD) als Indikator für die Dichte der Vegetation ein.

$$NDVD = \frac{V - G}{V + G}$$

Dabei entspricht G der Anzahl Bodenpunkte (*Ground Points*) und V der Anzahl Vegetationspunkte innerhalb des Vegetationsbereiches. Der Wertebereich des NDVDs ist zwischen -1 und +1. Der Indikator kann sowohl für den Bodenbewuchs (*NDVD Undergrowth*) als auch für die Vegetation (*NDVD Vegetation*) bestimmt werden.

3 Methodik und Werkzeuge

Den gesamten Prozess von den Stichproben über das Modell bis zum Vergleich mit der OL-Karte zeigt Abbildung 1.

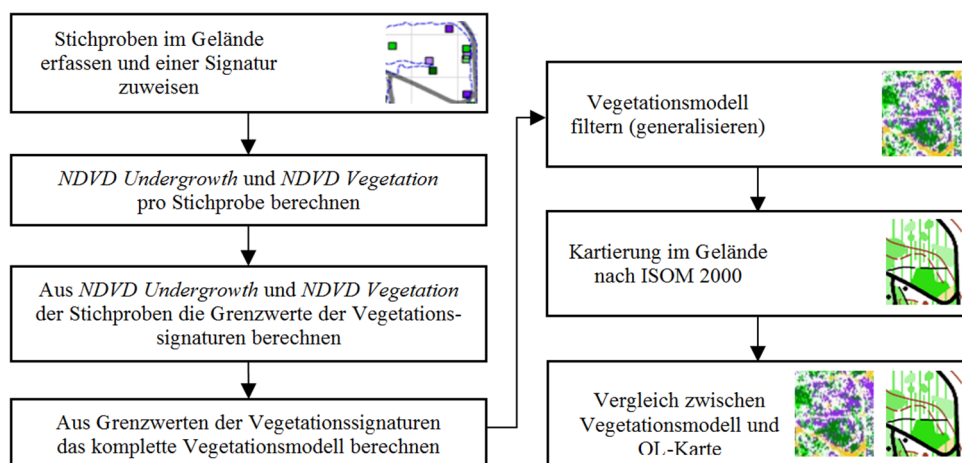


Abb. 1: Gesamtüberblick zur Methodik von den ALS-Daten zur OL-Karte und dem Vergleich durch Geländebegehung

Im Testgebiet wurden 166 Stichproben erfasst und einer ISOM 2000-Vegetationssignatur zugewiesen. Auf der OL-Karte wird sowohl der Bodenbewuchs als Strichraster, wie auch die Vegetation als Fläche in grüner Farbe dargestellt.

Tabelle 2: Signaturen der 6 Vegetationsklassen für die Stichproben

Signatur-Nummer	Beschreibung	Anzahl Stichproben	Darstellung RGB-Werte
405	Wald	31	255,255,255
407	Bodenbewuchs leicht	42	191, 128, 255
409	Bodenbewuchs stark	10	128, 0, 255
406	Vegetation leicht	15	128, 255, 128
408	Vegetation stark	57	0, 255, 0
410	Vegetation sehr stark	11	0, 128, 0

Um in einer Rasterkarte zwischen Bodenbewuchs und Vegetation klar unterscheiden zu können, wurden die zwei Klassen des Bodenbewuchses in violetter Farbe dargestellt (Tabelle 2). Es musste mit Violett eine Farbe gewählt werden, die nicht schon auf OL-Karten verwendet wird und von Personen mit Rot-Grün-Blindheit klar von Grün unterschieden werden kann.

Abbildung 2 zeigt die erfassten Stichproben auf der bestehenden OL-Karte aus dem Jahre 2010. Jede Stichprobe ist mit einem Quadrat dargestellt. Deren Füllung entspricht der Farbe der Klassierung (Tabelle 2). Die Größe des Gebiets in den folgenden Abbildungen beträgt 500 × 500 m.

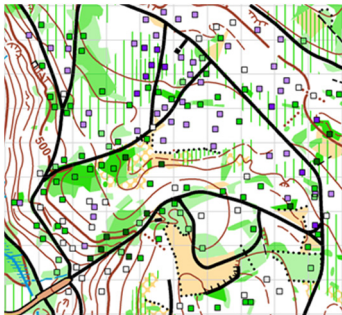


Abb. 2:
OL-Karte mit den erfassten und klassierten Stichproben

Zu jeder Stichprobe wurde aus den ALS-Daten die Indikatoren für die Vegetationsdichte *NDVD Undergrowth* (deutsch: NDVD Bodenbewuchs) und *NDVD Vegetation* berechnet. Der *NDVD Undergrowth* berechnet sich aus dem Verhältnis zwischen der Anzahl Vegetationspunkte des Bodenbewuchses und den Bodenpunkten. Als oberen Grenzwert wurde 1.0 m gewählt. Für den *NDVD Vegetation* wurden alle Vegetationspunkte zwischen Boden und 3.0 m über Boden verwendet. Damit waren in diesem Wert auch alle Punkte des Bodenbewuchses enthalten.

Als Vegetation klassierte ALS-Punkte zwischen dem Boden und 3 m darüber deuteten auf ein Hindernis für den Athleten hin. Es war jedoch nicht klar, ob dies ein Baumstamm, ein Ast, Laub, Bodenvegetation oder etwas Anderes ist. Anhand der Häufigkeit dieser Hindernisse sollte auf die Stärke der Laufbehinderung geschlossen werden können. Jedoch war es

auch möglich, dass das Kronendach zu dicht war und keine Laserimpulse in den bodennahen Bereich durchdrangen. Damit war keine Aussage über die bodennahe Vegetation möglich. Diese Bereiche wurden nicht in die Berechnung miteinbezogen.

Für die Berechnung wurde eine Zellengröße von 1×1 m verwendet. Damit genügend Vegetationspunkte zur Analyse einer Zelle vorlagen, wurden auch Punkte der Nachbarschaft miteinbezogen. Somit konnten auch Zellen ohne Punkte anhand der Umgebung klassiert werden. Die Entfernung zur Zelle gewichtete die Punkte der Umgebung. Für diese Arbeit wurden vier unterschiedliche Nachbarschaften (1×1 , 3×3 , 5×5 und 7×7) getestet.

Aus den NDVDs der Stichproben wurden die fünf Grenzwerte zwischen den einzelnen ISOM 2000-Vegetationssignaturen (Abb. 3) berechnet. Anhand dieser Grenzwerte (2 x NDVD Undergrowth und 3 x NDVD Vegetation) und der Klassierung der ALS-Daten konnte aus den Testdaten ein Modell mit einer Zellengröße von 1 m berechnet werden.

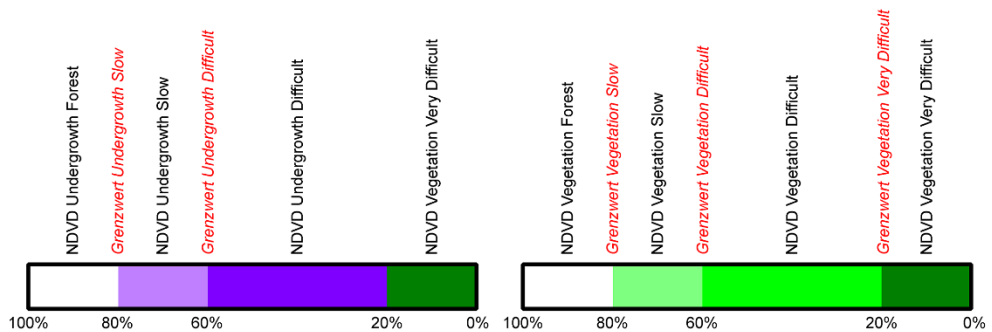


Abb. 3: Bedeutung der Grenzwerte der Belaufbarkeit gemäß ISOM 2000 in %

Regeln und Filter generalisierten und verbesserten dieses Modell. Die definierten Regeln lösten die Mehrdeutigkeit und bestimmten die Klassierung einer Zelle. So hatten zum Beispiel Gebäude gegenüber der Vegetation höhere Priorität. Dies führte dazu, dass Gebäude im Wald auch dementsprechend klassiert wurden, wenn Äste hoher Bäume übers Gebäudedach ragten. Auf das klassierte Modell wurden morphologische Filter angewendet. Diese Filter generalisierten das Modell. Dabei wurde jede Zelle mit den acht umliegenden verglichen. Öffnende Filter entfernten einzelne klassierte Zellen. Schließende Filter ersetzten einzelne Zellen mit der Klasse der umliegenden Zellen.

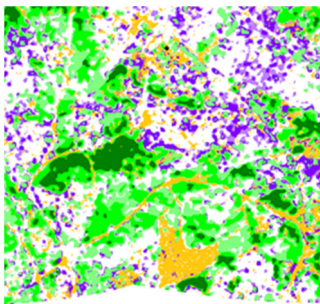


Abb. 4: Berechnete Orientierung Base Map

Somit war jede Zelle im Modell eindeutig einer ISOM 2000-Vegetationssignatur zugeordnet. Diese erstelle *Orienteering Base Map* (Abb. 4) diene als Grundlage für eine weitere Geländeaufnahme im Testgebiet.

4 Ergebnisse

Tabelle 3 zeigt die berechneten Grenzwerte für den *NDVD Undergrowth* und *NDVD Vegetation* in Bezug auf die vier unterschiedlich großen Nachbarschaften dar. Die Grenzwerte teilen den Wertebereich in die verschiedenen Vegetationsklassen (Abb. 5). Zu beachten ist, dass der Wertebereich der einzelnen Klassen gemäß ISOM unterschiedlich groß ist (Abb. 3).

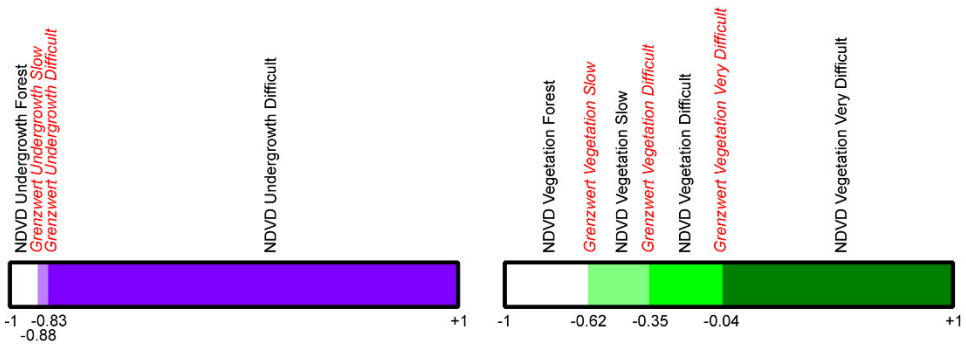


Abb. 5: Aufteilung der NDNDs auf den ganzen Wertebereich für die 7 × 7 Nachbarschaft

Tabelle 3: Grenzwerte für NDVD Undergrowth und NDVD Vegetation für den Bereich von 0.0 m bis 3.0 m

Vegetationsklassen	Grenzwert Nachbarschaft 1 × 1	Grenzwert Nachbarschaft 3 × 3	Grenzwert Nachbarschaft 5 × 5	Grenzwert Nachbarschaft 7 × 7
NDVD Undergrowth Slow	-0.91	-0.87	-0.88	-0.88
NDVD Undergrowth Difficult	-0.85	-0.82	-0.82	-0.83
NDVD Vegetation Slow	-0.76	-0.69	-0.65	-0.62
NDVD Vegetation Difficult	-0.57	-0.45	-0.37	-0.35
NDVD Vegetation Very Difficult	-0.03	0.05	0.08	-0.04

Zur Verifikation des Vegetationsmodells wurde ein Teil des Testgebietes gemäß den ISOM 2000-Spezifikationen im Gelände neu aufgenommen und am Computer anschließend gezeichnet (Abb. 6). Als Kartierungsgrundlage diente die erstellte *Orienteering Base Map*, ergänzt mit dem Wegenetz und den 1-m-Höhenkurven.

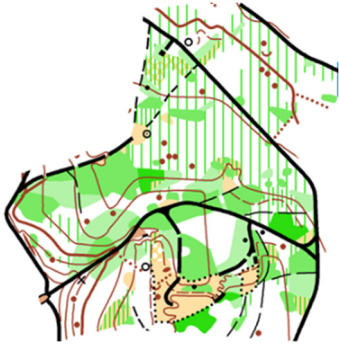


Abb. 6:
Kartierung des Testgebiets im April 2017

Der Vergleich zwischen Modell und OL-Karte basierte auf einer Rasteranalyse. Dementsprechend musste die OL-Karte so umkartiert werden, damit die Signaturen denen der *Orienteering Base Map* entsprachen (Abb. 7, rechts). Die Rasteranalyse ignorierte schwarze Bereiche. Aus diesem Grund wurde das ganze Wegenetz auch mit ausgezogenen, schwarzen Linien dargestellt (Abb. 7, links).

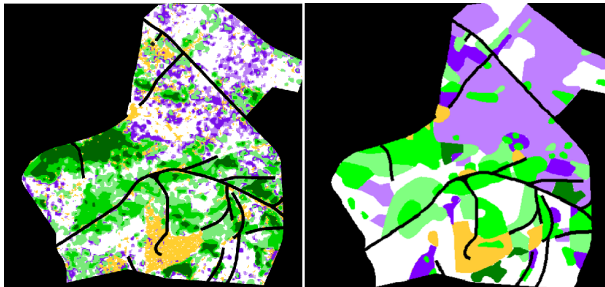


Abb. 7: Gegenüberstellung von Modell (7×7 -Nachbarschaft), links und Karte rechts

Die Tabelle 4 zeigt die Übersicht der korrekt klassierten Zellen zwischen der Karte und dem Modell in Abhängigkeit der Nachbarschaft für die Vegetationsklassen. Die Übereinstimmung der Werte für den Bodenbewuchs (2.2 % – 18.9 %) ist deutlich tiefer als diejenigen der Vegetation (5.3 % – 48.9 %). Je dichter die Vegetation, desto besser die Übereinstimmung.

Tabelle 4: Übersicht der Ergebnisse des Vergleichs zwischen Karte und Modell

	1×1	3×3	5×5	7×7
Forest	73.7 %	57.3 %	54.8 %	55.1 %
Undergrowth Slow	2.2 %	8.0 %	17.0 %	18.9 %
Undergrowth Difficult	15.0 %	10.6 %	10.3 %	11.9 %
Vegetation Slow	5.3 %	18.8 %	32.3 %	39.1 %
Vegetation Difficult	17.1 %	41.4 %	43.5 %	38.1 %
Vegetation Very Difficult	44.0 %	48.9 %	42.6 %	47.5 %
Open	62.8 %	63.0 %	62.8 %	62.8 %
Undergrowth Total Map	17.7 %	21.7 %	29.1 %	32.7 %
Vegetation Total Map	55.5 %	78.1 %	83.8 %	86.1 %
Undergrowth Total Model	55.1 %	63.1 %	69.6 %	72.9 %
Vegetation Total Model	66.2 %	60.1 %	61.4 %	63.2 %

Die Übereinstimmung ist jedoch beim Wald (54.8 % – 73.7 %) und beim offenen Gebiet (62.8 % – 63.0 %) am besten. Für die bessere Beurteilung der verschieden großen Nachbarschaften wurden die einzelnen Vegetationsklassen zu einer Klasse Bodenbewuchs (*Undergrowth Total*) und einer Klasse Vegetation (*Vegetation Total*) zusammengefasst. Damit erhöhte sich die Übereinstimmung signifikant. Die besten Übereinstimmungen ergab die 7×7 -Nachbarschaft. 32.7 % des kartierten Bodenbewuchs wurde auch im Modell dementsprechend berechnet. 72.9 % des im Modell detektierten Bodenbewuchs wurde auch als solcher kartiert. Dies ist eine hohe Übereinstimmung. Jedoch muss dies relativiert werden, da nur ein Drittel (32.7 %) des kartierten Bodenbewuchs auch dementsprechend im Modell klassiert wurde.

Die Berechnung detektierte nur 32.7 % des kartierten Bodenbewuchs im Modell (7×7 Nachbarschaft). Eine genauere Analyse anhand 3 Gebiete mit viel kartiertem Bodenbewuchs (Ausschnitte A, B und C) war angebracht. Der linke Teil in Abbildung 8 bis Abbildung 10 stellt das kartierte Gebiet (75×75 m) dar, der rechte das entsprechende Modell.

Ein visueller Vergleich beim Ausschnitt A (Abb. 8) zeigte klar, dass das Modell im Bereich des kartierten starken Bodenbewuchs größere gelbe Flächen enthält. Dies ist offenes Gebiet. Die Testdaten waren bereits drei Jahre alt. Es war somit realistisch, dass der starke Bodenbewuchs erst nach der Erfassung der ALS-Daten entstanden war. Wie die Situation zur Aufnahmezeit war, konnte nicht eindeutig nachvollzogen werden.

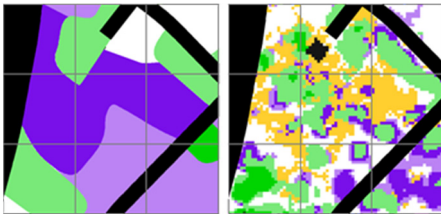


Abb. 8:

Analyse des Bodenbewuchs zwischen Karte und Modell (Ausschnitt A)

Ausschnitt B (Abb. 9) zeigt neben starkem Bodenbewuchs im Modell auch größere Gebiete ohne Laufbehinderung (Wald). Eine Analyse der ALS-Punktwolke zeigte, dass in diesem Modell als Wald kartiertes Gebiet Bodenpunkte vorhanden waren, jedoch keine oder nur wenige relevante Vegetationspunkte zwischen 0 – 3 m über dem Boden. Waren keine bodennahen Punkte vorhanden, konnte das Modell dementsprechend auch keine Laufbehinderung detektieren.

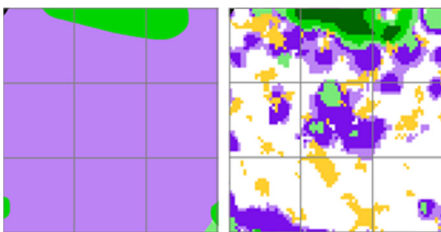


Abb. 9:

Analyse des Bodenbewuchs zwischen Karte und Modell (Ausschnitt B)

Ausschnitt C (Abb. 10) zeigt ein weiteres Gebiet mit kartiertem Bodenbewuchs. Mehrere Gebiete davon sind im Modell als Wald definiert. Im südöstlichen Teil gibt es aber auch einen als leichten Vegetation dargestellten Bereich.

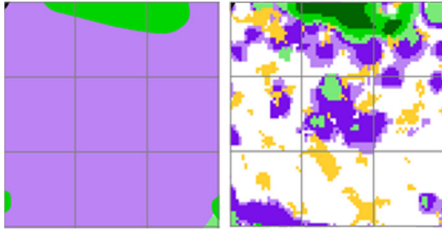


Abb. 10:
Analyse des Bodenbewuchses zwischen Karte
und Modell (Ausschnitt C)

Die Analyse zeigte, dass verschiedene Faktoren zu einer Übereinstimmung von nur 32.7 % führten. Zum einen können die Daten veraltet gewesen sein und die bodennahe Vegetation in offenen Gebieten unterdessen deutlich dichter. Zudem fehlten in einigen Gebieten bodennahe Punkte. Wenn keine Punkte vorhanden waren, konnte die entwickelte Methode für das Modell auch keine Laufbehinderung detektieren.

5 Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es, aus den ALS-Daten halbautomatisch die bodennahe Vegetation zu bestimmen. Die berechnete *Orienteering Base Map* enthält die bodennahe Vegetation. Diese neue Karte kann dem OL-Kartographen als neue, wertvolle Grundlage für seine Arbeit im Gelände dienen. Bei der Einführung einer neuen Technologie wie der *Orienteering Base Map* müssen zuerst Erfahrungen bei der Anwendung gesammelt werden. Jedoch kann erwartet werden, dass mit mehr Erfahrung auch der Zeitaufwand fürs Kartieren sinkt. Somit ist zu erwarten, dass diese zusätzlich gewonnenen Informationen über die bodennahe Vegetation die Herstellungsdauer einer OL-Karte verkürzen und somit die Produktivität des Kartographen steigern.

Die berechneten Grenzwerte weichen stark von den Berechnungen einer Forschungsarbeit bei Oslo (Trier, 2015) ab. Dies zeigt, dass diese Grenzwerte abhängig von der Art des Waldes, vom Zeitpunkt der Befliegung und der ALS-Punktdichte sind. Somit müssen für andere Gebiete zuerst Stichproben erfasst werden um das Modell berechnen zu können.

Mit der geeigneten Größe der Nachbarschaft und der Grenzwerte sind 86.1 % der kartierten Vegetation im Modell bestimmt worden. Beim Bodenbewuchs sind es hingegen nur 32.7 %. Die Vegetation kann somit deutlich besser detektiert werden als der Bodenbewuchs. Ein visueller Vergleich zwischen Karten und Modell zeigt, dass sämtliche kartierte Vegetation im Modell auch als solche erkannt wurde. Nur die Größe, Form und Klassierung innerhalb der Vegetationsklassen ist unterschiedlich. Für die bessere Berechnung des Bodenbewuchses sind aktuellere ALS-Daten notwendig, die genügend korrekt klassierte Punkte im Bereich zwischen Boden und 1 m darüber besitzen.

Die beiden berechneten *NDVD Undergrowths* entsprechen nicht den Erwartungen. Bei einem Wertebereich von -1 bis zu $+1$ liegen diese maximal 0.06 auseinander. Dies entspricht nur 3 % des Wertebereiches. Dementsprechend ist die Unterscheidung der beiden Bodenbewuchsklassen kaum möglich. Wenn keine bodennahen Punkte in der ALS-Punktwolke vorhanden sind, kann für das Modell auch keine Laufbehinderung detektiert werden. Diese Daten wurden im März oder April geflogen. Zu dieser Zeit sind die im Testgebiet vorhandenen

Brombeer-Felder am niedrigsten. Es ist unklar, ob diese Brombeeren als Boden klassiert oder gar nicht erfasst wurden. Eine bessere Detektierbarkeit wäre zu erwarten gewesen.

Die beste Übereinstimmung zwischen Modell und OL-Karte lieferte die 7×7 m Nachbarschaft. Dies ist die GröÙte der vier verwendeten. Es stellt sich somit unweigerlich die Frage, wieso nicht größere Nachbarschaften (z. B. 9×9 m) getestet wurden. Je größer die Nachbarschaft, desto mehr wird die Vegetationskarte generalisiert. Damit könnten aber kleine Details auf dieser Karte verschwinden, die für den Kartographen bei der Geländeaufnahme wichtig sind.

Die Modellberechnung erfolgt durch die NDVDs. Diese Indikatoren normalisieren Gebiete mit unterschiedlicher ALS-Punktdichte. Dadurch kann die bodennahe Vegetation auch von größere Waldgebieten einheitlich bestimmt werden. Diese Vegetations-Grundlagen können zu einer einheitlicheren Kartierung führen, wenn mehrere Kartographen gemeinsam an einem Projekt arbeiten.

6 Ausblick

Diese Arbeit zeigte das große Potenzial der ALS-Daten bei der Vegetationskartierung für OL-Karten. Für die bessere Berechnung des Bodenbewuchses müssen jedoch aktuelle ALS-Daten verfügbar sein, die mehr bodennahe Punkt enthalten.

Literatur

- Gloor, T. (2013). Vegetation height maps derived from digital elevation models – the next innovation in the production of orienteering maps? *Proceedings International Cartographic Association 2018*. Retrieved from http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2013/ICC2013_Proceedings.pdf, Page 558.
- International Orienteering Federation, M. C. (2000). *International Specification for Orienteering Maps 2000*. Retrieved from http://orienteering.org/wp-content/uploads/2010/12/International-Specification-for-Orienteering-Maps-2000_2.pdf.
- Schaad, G.-R. (2009). *Digitales Oberflächenmodell (DOM) zur Vegetationskartierung*. Retrieved from http://www.swiss-orienteering.ch/files/kommission_karten/krtelertagung_2009_dom.pdf.
- Trier, Ø. (2015). *Automatic Mapping of Forest Density from Airborne Lidar Data*. Norwegian Computing Center, Oslo, Norway: Taylor & Francis.