

Waldstrukturerfassung mittels Laserscanning im Schutzwald

von Mag. Bernhard Maier und Dr. Markus Hollaus

Die Waldstruktur stellt eine wichtige Grundlage zur Beurteilung der Schutzwirksamkeit von Waldbeständen dar. Gerade in den Nadelholz dominierten Gebirgsschutzwäldern eignen sich dreidimensionale Kronenoberflächen aus dem Laserscanning sehr gut zur Erfassung der horizontalen und vertikalen Waldstruktur. Dieser Beitrag diskutiert die Waldstruktur im Kontext der Schutzwaldpflege. Weiters werden verschiedene Auswertbeispiele von Strukturparametern aus Laserdaten vorgestellt, welche in Montafoner Schutzwäldern überprüft wurden.

Waldstruktur und Schutzwirkung

Die Schutzwirksamkeit eines Waldes hängt sowohl von der Art und Intensität der Naturgefahren als auch vom Zustand des Waldes selbst ab. Der Zustand eines Schutzwaldes wird größtenteils durch seine strukturellen Eigenschaften reflektiert. Die Waldstruktur stellt somit einen Schlüsselfaktor in der Beurteilung der Schutzauglichkeit eines Waldes dar. Generell werden ungleichförmige, mehrschichtige Bestände mit einem Mosaik unterschiedlicher Waldentwicklungsphasen als besonders stabil und schutzauglich angesehen. Gleichförmige Bestände mit lockerem Schlussgrad und großen Lücken hingegen schützen nur unzureichend vor Naturgefahren wie Lawinen, Steinschlag und Rutschungen.

Was verstehen wir nun unter Waldstruktur? Waldstruktur definiert die Organisation der Bäume in Raum und Zeit. Diese Organisation beinhaltet die Position, das Ausmaß, die Art der Zusammensetzung und Nachbarschaft der Waldvegetation. In der forstlichen Praxis wird Waldstruktur gewöhnlich über die horizontale Baumverteilung, die vertikale Schichtung und die Baumartenzusammensetzung charakterisiert. Zur Beurteilung der Schutzwirkung werden häufig folgende strukturelle Eigenschaften herangezogen: Überschirmung, Schichtung, Stammzahl und Lückengröße. Mit Hilfe dieser Struktureigenschaften wird in waldbaulichen Handlungsanleitungen, wie beispielsweise dem in der Schweiz entwickelten NaiS (Nachhaltigkeit im Schutzwald), der Zustand des Waldes bewertet. Die Konzeption von NaiS basiert auf einem Vergleich zwischen dem aktuellen Zustand des Bestandes mit Anforderungsprofilen für die einzelnen Naturgefahren und Standortstypen. Für diesen Vergleich ist die Anschätzung und Beurteilung der strukturellen Eigenschaften erforderlich, was anhand von Weiserflächen im Wald erfolgt. Laserscannerdaten können diese Strukturhebung unterstützen und auf großer Fläche erleichtern.

Waldstruktur aus Laserscanner-Oberflächen

Nachdem Laserscannerdaten die Verteilung der Kronenoberflächen sehr detailliert beschreiben, eignen sich diese Fernerkundungsdaten hervorragend zur Erfassung von Waldstrukturmerkmalen. Da ein Laserscanner als aktives System nicht vom Sonnenlicht abhängig ist, gibt es in den Laserscannerdaten keine Schatteneffekte, welche beispielsweise den Informationsgehalt an Nordhängen beeinträchtigen können. Die Laserscannerdaten für Vorarlberg wurden in den Jahren 2002 bis 2005 aufgenommen. Die aus Laserscannerdaten abgeleiteten Standardprodukte umfassen das digitale Geländemodell (DGM), das digitale Oberflächenmodell (DOM) sowie die Differenz aus diesen Modellen das sogenannte normalisierte Oberflächenmodell (nDOM). Für die Erstellung eines DGMs werden die am tiefsten liegenden Punkte (last-echos) herangezogen. Da aus der Sicht des Flugzeuges die Geländeoberfläche

Ganeu Transekt: Validierung des Deckungsgrades

Baumhöhe (gemessen)

- 0,00 - 17 m
- 17,1 - 27,6 m
- 27,7 - 34,0 m
- 34,1 - 36,6 m
- 36,7 - 41,0 m

Baumhöhenklassen

- ◻ 10,4 m - 20,0 m
- ◼ > 20 m



0 12,5 25 Meters

Übersicht Lage:

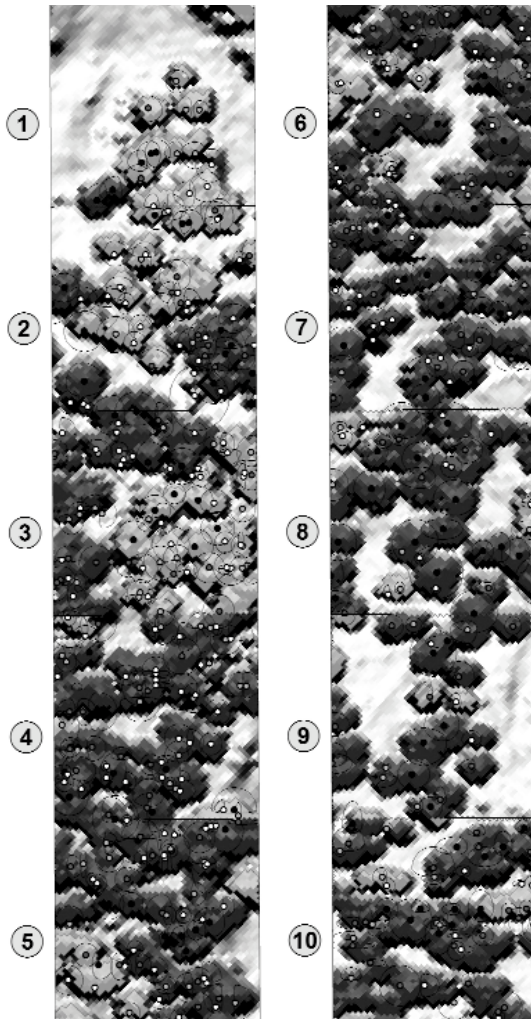


Abb. 1 Der durch Kronenablotung gemessene Deckungsgrad beträgt 39,7%. Der mittels Laserscannerdaten ermittelte Wert liegt mit 41,5% leicht darüber. Die an der Grenze zwischen Abschnitt 2 und 3 liegende nicht detektierte Krone stammt von einem Bergahorn, der sich auf Grund der Winterbefliegung nicht in den Laserscannerdaten abzeichnete.

durch Objekte wie beispielsweise Gebäude, Autos, Vegetation, etc. verdeckt sein kann, muss in einem ersten Schritt eine Klassifizierung der Laserpunkte in Boden- (Gelände-) und „Nicht-Boden“-Punkte vorgenommen werden. Anschließend wird aus den Bodenpunkten eine Geländeoberfläche berechnet. Anders als beim DGM sind für die Erstellung eines DOMs die höchsten Punkte, und somit vom Flugzeug aus gesehen die am nächsten Punkte (first-echos), relevant. Eine häufige Art und Weise ein Oberflächenmodell aus den „first-echos“ zu berechnen, besteht darin, dass für jede Rasterzelle eine gleitende Schrägebene in eine lokale Punktwolke (bestehend aus Punkten die in der Rasterzelle liegen sowie benachbarten Punkten) geschätzt wird. Andere Möglichkeiten wären beispielsweise, dass der höchste Punkt einer Rasterzelle verwendet wird, oder dass eine Dreiecksvermaschung durchgeführt wird. Für Vorarlberg haben diese Modelle eine Rastergröße von 1 m. Zum Funktionsprinzip von Laserscanning und den technischen Details wird auf den Artikel von Hollaus et al. über die Vorarlberger Holzvorratskarte in dieser Ausgabe verwiesen.

Wie genau sind Laserscanner-Oberflächen?

Die erzielbaren Genauigkeiten derartiger Modelle hängen sehr stark von der Punktdichte (gemessene Punkte pro Quadratmeter), der Durchdringungsrate sowie der Geländeneigung ab. Die Durchdringungsrate gibt an wie viele der Laserstrahlen bis zum Gelände gelangen und von diesem einen Messwert liefern, d.h. im offenen Gelände erreichen alle Laserstrahlen den Boden (Durchdringungsrate ist 100%), wohingegen in bewaldeten Gebieten die Durchdringungsrate auf etwa 20% sinken kann. Generell gilt, dass mit zunehmender Boden-/Geländepunktdichte die erzielbare Genauigkeit des DGMs steigt. Weiters sinkt die Genauigkeit mit zunehmender Geländeneigung, da sich bereits kleinste Fehler in den Winkelmessungen des ausgesandten Laserstrahls auf die Lagekoordinaten im steilen Gelände stärker als im flachen Gelände auswirken. Im inneren Montafon wurde in einem früheren Projekt mit Hilfe von ca. 1100 Boden-Kontrollpunkten, die aus einer Geländeaufnahme für einen Schutzdamm stammen, die Genauigkeit

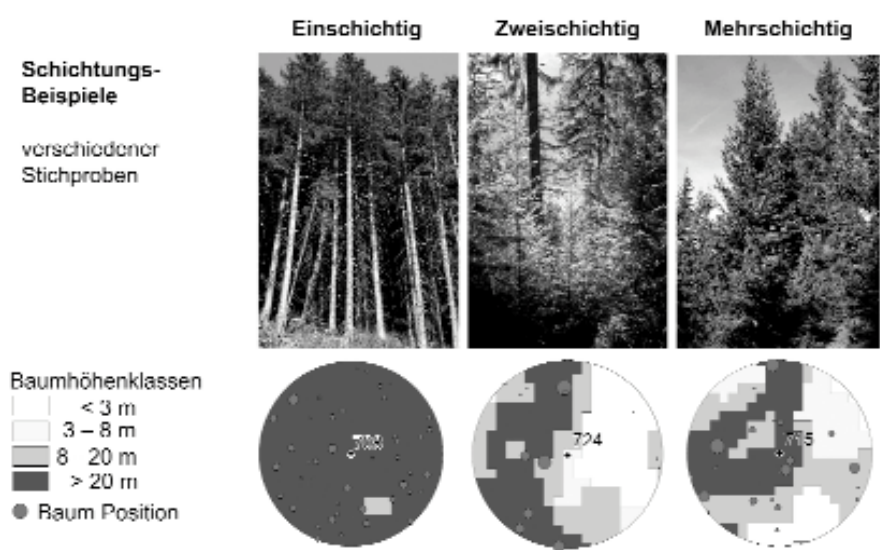


Abb. 2 Die automatische Schichtungsansprache wurde mit terrestrischen Stichproben (Radius = 10 m) überprüft.

des abgeleiteten DGMs untersucht. Es hat sich gezeigt, dass für schwach geneigte Geländebereiche (Geländeneigung $<10^\circ$) Genauigkeiten von durchschnittlich ca. ± 10 cm und für Geländebereiche mit einer Geländeneigung von mehr als 60° Fehler von durchschnittlich mehr als ± 50 cm erzielt werden konnten. Eine quantitative Qualitätsanalyse des DOM ist hingegen aufgrund fehlender Referenzdaten nicht möglich.

Waldstrukturerfassung mit Hilfe des Kronenmodells

Ausgangspunkt der Waldstrukturauswertung mit Laserdaten bildet das sogenannte normalisierte Oberflächenmodell (nDOM), das im Wald auch als Kronenmodell bezeichnet wird. Das Kronenmodell ist die Differenz zwischen Vegetations- und Bodenoberfläche und beinhaltet die Beschreibung der Kronenoberfläche mit einem kontinuierlichen Raster von 1 m Auflösung. Zur Strukturanschätzung wird das Kronenmodell in homogene Baumhöhenbereiche gegliedert und in weiterer Folge gemäß der Bestandeshöhe in vier verschiedene Höhenklassen eingeteilt. Durch diese räumliche Gliederung in verschiedene Baumhöhenbereiche lässt sich das komplexe Kronenmodell vereinfachen und damit kann sowohl die horizontale als auch die vertikale Struktur abgebildet werden. In der Folge wird die Ableitung der Strukturparameter Überschirmung, Schichtung und

Lückengröße dargestellt.

Deckungsgrad und Überschirmung

Unter Deckungsgrad (DG) versteht man das Verhältnis der durch die Kronenprojektion überschirmten Fläche zur Gesamtfläche innerhalb der Waldbegrenzungslinie. Die mehrfache vertikale Überschir-

Nachlese: Infoveranstaltung Waldinventur und Laserscanning

Nicht zuletzt aufgrund der Vorarlberger Vorerfahrungen in Sachen Laserscanning, fand am 7. März 2008 im Landhaus eine Informations-Veranstaltung zum Thema Waldinventur und Laserscanning statt, an der über 30 Forstleute aus Vorarlberg und Tirol teilnahmen. Klemens Schadauer vom Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) referierte über die Einbindung von Fernerkundungsdaten in die Österreichische Waldinventur. Peter Drexel vom Landesvermessungsamt Vorarlberg bot einen Einblick in das Laserscanning-Datenmanagement in der Landesverwaltung und wagte einen vielversprechenden Ausblick in die „Datenzukunft“. Die Referate von Markus Hollaus und Bernhard Maier sind in diesen beiden Laserscanning-Beiträgen in der vorliegenden Waldzeitung zusammengefasst. Die Präsentationunterlagen können beim Veranstalter angefordert werden (Forstabteilung Vc, christoph.hiebeler@vorarlberg.at).

mung in stufigen Beständen bleibt unberücksichtigt, d.h. der Gesamtdeckungsgrad kann 100% nicht übersteigen. Durch die Einteilung des Kronenmodells in vier Höhenklassen, kann der DG sowohl für jede einzelne Höhenklasse als auch für den Gesamtbestand ermittelt werden. Zur Kontrolle der aus Laserscannerdaten abgeleiteten DG dient ein 2,5 ha großer Versuchstreifen auf Ganeu (Gemeinde Vandans). Auf dieser Fläche wurden im Rahmen eines Auszeivevergleiches unter anderem alle Bäume eingemessen und deren Kronen abgelotet. Daraus konnte ein im Wald gemessener DG berechnet werden. Der Vergleich beider Datensätze ist in Abb. 1 dargestellt. Während der im Wald abgelotete DG 39,7% beträgt, ergibt der DG aus den Laserscannerdaten ein Wert von 41,5%. Wenngleich auf Grund der Winterbefliegung einige Bergahorne sich nicht in den Laserdaten abzeichnen, zeigt dieses Ergebnis doch, dass sich der DG mittels Laserscanner ausreichend genau ermitteln lässt.

Vertikale Schichtung und Textur

Die Schichtung der Bestände lässt sich anhand des Deckungsgrades in verschiedenen Höhengschichten ansprechen. Da in einem 2,5D-Kronenmodell nur die oberste Kronenschicht sichtbar ist, können überschirmte Unter- und Zwischenschichten

nicht angesprochen werden. In Bergwäldern mindert dieser Nachteil jedoch kaum die Ansprache der vertikalen Schichtung. Denn in den für Bergwälder typischen offenen Grupp- und Rottenstrukturen existieren kaum Verjüngungsschichten unterhalb geschlossener Kronen. Weiters sind in den Bergwäldern auf Grund der fehlenden Schattbaumarten die unterschiedlichen Entwicklungsphasen nicht übereinander sondern eher nebeneinander organisiert. Für die automatische Schichtungs-Identifikation wurde ein Regelwerk angelegt, das den Vorgaben der Nationalen Österreichischen und Schweizerischen Waldinventur folgt. Demgemäß muss beispielsweise eine Schicht mindestens eine Überschirmung von 30% aufweisen, um als eigene Kronenschicht zu gelten. Wenn eine dominante Kronenschicht über 80% Deckungsgrad aufweist, spricht man von einem einschichtigen Bestand. Bei einer zweischichtigen Struktur sind zwei ausgeprägte horizontale Kronenschichten mit je 30% DG vorhanden. Als mehrschichtig oder stufig gilt, wenn mehr als zwei horizontale Kronenschichten deutlich ausgeprägt sind. Die Validierung der automatischen Schichtungsansprache mittels Laserscannerdaten erfolgt mit Hilfe 33 terrestrisch angesprochenen Stichproben im Rifner- und Kilknerwald in Gaschurn. Gemäß diesem Ver-

gleich kann die Schichtung mit dem automatischen Ansatz bei 73% der Stichproben korrekt identifiziert werden. Dieses Ergebnis erhöht sich auf 82%, wenn zwei- und mehrschichtige Strukturen zusammengefasst und ausschließlich zwischen ein- und mehrschichtigen Beständen differenziert wird. Die meisten Fehler liegen in den gering überschirmten Rottenstrukturen nahe der Waldgrenze.

Bestandeslücken

Die oben beschriebene Höhenklassifizierung des Kronenmodells trennt gleichzeitig Waldflächen von unbestockten Flächen. In einer solchen Ausscheidung wird das für den subalpinen Fichtenwald typische Mosaik von Baumkollektiven und baumlosen Lücken sichtbar. Während kleine Bestandeslücken ein charakteristisches Merkmal dieser Nadelwälder darstellen, gelten große Bestandeslücken auf steilen Hängen als potentielle Waldlawinanrissgebiete. In einem ersten Verarbeitungsschritt werden die Bestandeslücken im Baumhöhenmosaik identifiziert. Weiters wird innerhalb dieser Freiflächen anhand eines hydrologischen Algorithmus die längste Distanz in Falllinie berechnet. Überlagert man diese Lückenzlänge mit einer Hangneigungskarte, die aus dem Laserscanner-Bodenmodell (DGM) berechnet wird, kann das Lawinenrisiko anhand von Lückenzlänge und Hangneigung, wie sie in NaiS definiert sind, vorab grob eingestuft werden. In Abb. 3 sind die kritischen Lücken im Rifner- und Kilknerwald dargestellt. Dies ermöglicht einen raschen Überblick des Gefahrenpotentials auf großer Fläche (Revier, Gemeinde) und ergänzt die Experten-Ansprache vor Ort bzw. macht diese effizienter.

Anwendungen und Ausblick

Ein Wald ist ein dynamisches System, welches nicht über längere Zeit in einem gewünschten Zustand gehalten werden kann. Die Bestandesstruktur, welche die Güte der potentiellen Schutzwirkung eines Waldes massgeblich beeinflusst, verändert sich andauernd. Das bedingt zwangsläufig eine permanente Veränderung der Schutzwirkung eines Bestandes. Angesichts dieser Dynamik kommt dem Monitoring dieser Veränderungen immer mehr Bedeutung zu. Wir werden uns beispielsweise fragen müssen, ob die getätigten waldbaulichen oder auch technischen Maßnahmen auch wirk-

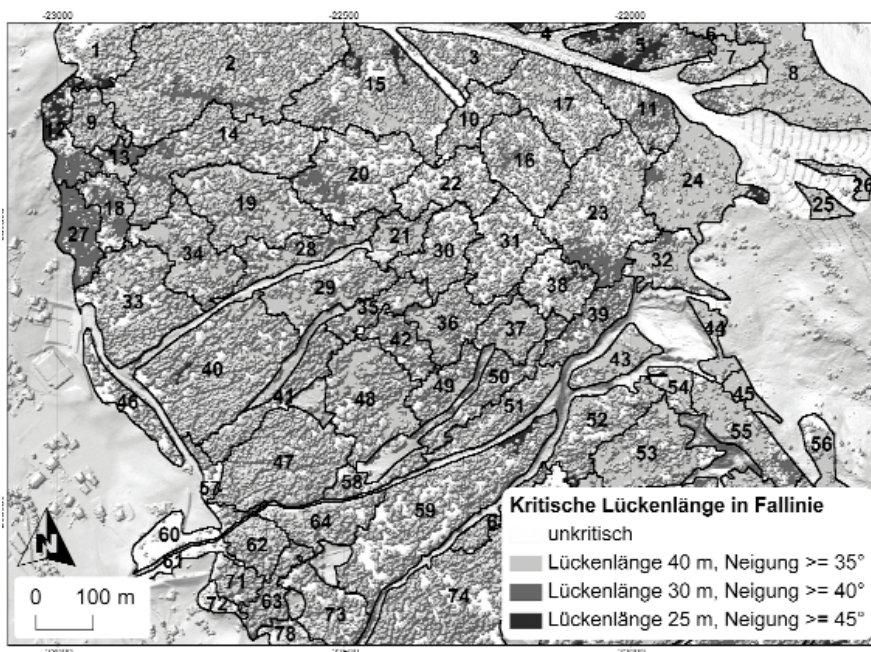


Abb. 3 Die kritische Lückenzlänge im Rifner- und Kilknerwald in Gaschurn wurde gemäß der Definition in der Handlungsanleitung NaiS (Nachhaltigkeit im Schutzwald) aus Laserscannerdaten ermittelt.

lich erfolgreich waren. Solche Fragen können neben der Beurteilung der Verjüngungssituation durchaus auch anhand der Waldstruktur beantwortet werden. Der Vorteil einer automatischen Strukturansprache mittels Laserscannerdaten liegt in der transparenten und objektiven Vorgehensweise und der einfachen Wiederholbarkeit. Es ist jedoch zu beachten, dass dafür auch entsprechende Validierungs- und Kalibrierungsdaten erforderlich sind, welche durch eine permanente Waldinventur zur Verfügung gestellt werden können.

Die hier präsentierten Strukturmerkmale stellen lediglich eine Auswahl dar. So lässt sich auch die Dichte an Bestandesinnerrändern als Stabilitätsmerkmal sehr gut aus Laserscannerdaten ableiten. Weiters kann die Rauigkeit der Kronenoberfläche als Maßzahl für die Strukturierung herangezogen werden. Durch Analyse der Bestandeslücken kann festgestellt werden, ob die Freifläche in zahlreiche kleine oder wenige große Lücken verteilt ist. Die Stammzahl lässt sich bislang nur unzureichend auf automatischem Wege ermitteln. Es ist aber denkbar, Stammzahl und Durchmesserverteilung über Referenzverteilungen in verschiedenen Bestandesstrukturtypen und Waldentwicklungsphasen zu schätzen. Dies ist jedoch noch Gegenstand derzeitiger Forschungen. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Kombination von terrestrischen Inventurdaten und flächendeckenden Laserscannerdaten auch in der Strukturierung praxistaugliche Grundlagen für die forstliche Planung und das Monitoring in Schutzwaldsanierungs- und flächenwirtschaftlichen Projekten liefert.

Mag. Bernhard Maier (Stand Montafon Forstfonds, Montafonerstraße 21, 6780 Schruns, Österreich, bernhard.maier@stand-montafon.at; <http://www.stand-montafon.at>)

Dr. Markus Hollaus (Christian-Doppler-Laboratorium für „Räumliche Daten aus Laserscanning und Fernerkundung“ am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gusshausstrasse 27-29, 1040 Wien, Österreich, mh@ipf.tuwien.ac.at; <http://www.ipf.tuwien.ac.at/>)

Der Holzvorrat Vorarlbergs

Eine landesweite Holzvorratskarte abgeleitet aus Laserscannerdaten und der Österreichischen Waldinventur

von Markus Hollaus, Bernhard Maier & Wouter Dorigo

Der folgende Beitrag fasst die Ergebnisse des vom Landesvermessungsamt sowie der Landesforstverwaltung Vorarlberg geförderten Projektes „Ableitung von Forstparametern aus ALS Daten für Vorarlberg“ zusammen. Das primäre Ziel dieses Projektes lag in der Untersuchung, ob und in welcher Weise die vorhandenen Laserscannerdaten für die landesweite Abschätzung des Holzvorrates herangezogen werden können. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag dabei auf der operationalen Anwendung des entwickelten Modells zur Erstellung einer flächendeckenden Holzvorratskarte Vorarlbergs.

Zu diesem Zweck wurde mit Hilfe der Österreichischen Waldinventurdaten (ÖWI) ein empirisches Modell kalibriert und anschließend flächendeckend angewandt. Der Nutzen einer derartigen flächigen Verdichtung des ÖWI Stichprobennetzes liegt in erster Linie in der Erhöhung der Aussagekraft für kleinere Einheiten sowie in der Datenbeschaffung von schwer- bzw. unzugänglichen Gebieten. Weiters sollen damit auch Holzvorratschätzungen und die verbesserte Erfassung des Schutzwaldes in Regionen möglich sein, für welche auf Grund der Kleinwaldstruktur keine detaillierten Betriebsinventuren zur Verfügung stehen. Die generierte Holzvorratskarte wurde mit den unabhängigen Betriebsinventurdaten des Stand Montafons

überprüft und zeigt eine sehr gute Übereinstimmung mit den terrestrisch aufgenommenen Stichprobendaten.

Die Arbeiten wurden am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität Wien in Zusammenarbeit mit der Forstverwaltung Stand Montafon Forstfonds und dem Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) durchgeführt.

Laserscannerdaten

In Vorarlberg wurde in den Jahren 2002 bis 2005 Laserscann-Befliegungen durchgeführt und es war somit das erste Bundesland Österreichs mit einem flächendeckenden Laserscannerdatensatz. Der beispielhaften Umsetzung in Vorarlberg folgten inzwischen zahlreiche Befliegungen in den anderen Bundesländern.

Für die Aufnahme hochgenauer topographischer Daten stellt das flugzeuggetragene Laserscanning, häufig auch als Airborne Laserscanning (ALS) bezeichnet, eine Standardmethode dar. Ein im Flugzeug bzw. Helikopter montierter Laserscanner sendet in regelmäßigen Zeitabständen bis zu 200.000 kurze Laserstrahlen pro Sekunde zur Erdoberfläche wo sie von unterschiedlichsten Oberflächen wie beispielsweise Vegetation, Straßen, Autos, Gebäude, Stromleitungen, etc. reflektiert werden.

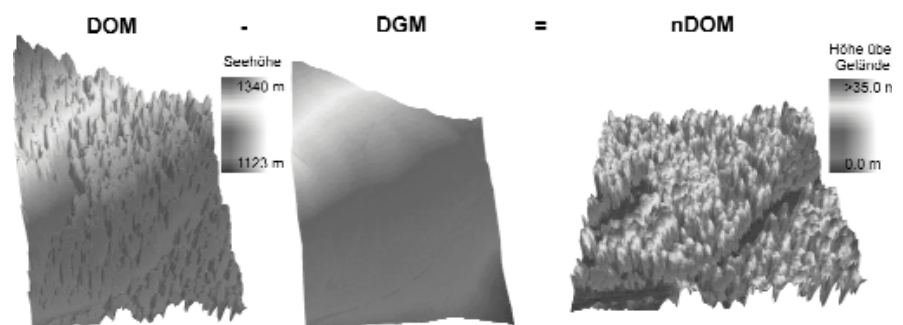


Abbildung 1: Ausschnitt aus den vorhandenen topographischen Modellen. Das linke Bild zeigt ein digitales Oberflächenmodell (DOM), das mittlere ein digitales Geländemodell (DGM) und das rechte ein normalisiertes Oberflächenmodell (nDOM) berechnet aus der Differenz zwischen DOM und DGM. Die Modelle haben eine räumliche Auflösung von 1 m.