



l a n d C o n s u l t . d e

Spannstattstrasse 40
D 77773 Schenkenzell
Germany

Tel.: +49-7836-307313
Mobile: +49-170-8988393
Fax: +49-721-151 526 996 (on request)
E.mail Link on <http://landconsult.de>
Internet: <http://landconsult.de>

International consortium of geo-scientists, land use planners, forest engineers and computer experts

Generierung von Informationen für die Forsteinrichtung auf Basis von Airborne Laser Scanning Daten (ALS) und digitalen Farbinfrarotbildern (CIR) am Beispiel von zwei Untersuchungsflächen in Sachsen.

Vortrag anlässlich der Sachsenforst Tagung

"Laserscanning - ein Werkzeug für die Forsteinrichtung"

Dresden, 04. März 2008

von

Dr. Markus Weidenbach
landConsult.de

1. Überblick

2007 beauftragte Sachsenforst die Firma landConsult.de mit der Auswertung von ALS Daten und digitalen Luftbildern. Es wurden zwei Untersuchungsgebiete mit unterschiedlichen Datensätzen ausgewählt.

1. Ein ca. 250 ha großes Waldgebiet in der Sächsischen Schweiz (Reinhardtsdorf). Für dieses Gebiet lagen Laserdaten mit einer Punktdichte zwischen 2-18 Punkten / qm (laut Auswertung der TU Dresden) sowie ein 8 Bit Farbinfrarot True-Orthophoto mit einer Bodenauflösung von 50 cm vor. Die Daten wurden Ende April 2005 von der Firma TopoSys mit dem System FALCON II im europäischen geographischen Bezugssystem ETRS89 aufgenommen.

2. Für ein ca. 270 ha großes Waldgebiet im Erzgebirge (Eibenstock) standen Datensätze aus unterschiedlichen Jahren zur Verfügung: die LiDAR Daten des Sächsischen Vermessungsamtes aus dem Jahr 2005 wurden von der Firma Topscan erhoben und haben eine durchschnittliche Punktdichte von 1,4 Punkten / qm. Das 8 Bit Farbinfrarot Orthophoto wurde Ende April 2006 mit einem DMC Kamerasystem mit einer Bodenauflösung von 20 cm aufgenommen. LiDAR und Orthophoto liegen im Gauss-Krüger Zone 5 Bezugssystem vor

2. Das Wichtigste zuerst: Qualität und Format der Daten!

Entscheidend für die Genauigkeit der Auswertungsergebnisse sind die zur Verfügung stehenden Eingangsdaten. Ihre Qualität und ihr Format bestimmen das weitere Vorgehen. Aus heutiger Sicht ist bei der Datenerhebung auf folgende technische Dateneigenschaften besonderen Wert zu legen:

Orthophoto versus True-Orthophoto

Bei der Herstellung üblicher digitaler Orthophotos werden die Luftbilder auf Basis des Geländemodells entzerrt und die einzelnen Bilder zu einem Mosaik zusammengefügt, wie am Beispiel der Daten für Eibenstock geschehen. Die Folge der unberücksichtigten Waldhöhe sind nahezu quer im Bild liegende Bäume, wobei die Baumkronen einige Meter neben dem Stammfuß abgebildet werden (siehe Abb. 0.1). Solche Bilddaten können nicht mit den Laserdaten in Übereinstimmung gebracht werden und sind zudem für eine automatisierte Bildauswertung nur bedingt brauchbar. Lediglich in einem engen Bildnadirbereich im Zentrum der Aufnahme treten diese Probleme nicht auf.



Abb. 0.1: Ausschnitt aus dem Orthobildmosaik von Eibenstock, das NICHT auf Grundlage der Baumhöhen entzerrt wurde. Das Resultat ist z.B. im linken Bildbereich zu sehen (grünes Oval), wo die Laubholzkronen scheinbar *im* Bach und außerhalb des GIS Bestandespolygons liegen. Solche Bildbereiche sind für automatische Auswertungen sehr kritisch, da aufgrund der Bildverzerrung die Laserhöhe nicht mit der Bildinformation übereinstimmt.

Besser gelöst ist das Problem mit dem FALCON II System von TopoSys bei dem LiDAR und Bilddaten gemeinsam aufgenommen und die Baumhöhen zur Berechnung eines True-Orthophotos genutzt wurden, mit dem Resultat, dass alle Bäume des Bildes "senkrecht" zum Betrachter stehen (siehe Abb. 4.1 - 4.3). Die Lage der Baumkronen stimmt dann mit den Laserhöhen und im Zweifel auch mit den ForstGIS Bestandespolygonen überein.

Die Herstellung von True-Orthophotos ist technisch übrigens auch ohne Laserdaten möglich, wenn bei der Befliegung mit DMC Kameras auf eine hohe Überlappung der Bilder geachtet wird (mit der Vexcel UltraCAM sind z.B. 80-90% möglich). Daraus lassen sich Bestandeshöhenmodelle berechnen, die der Qualität der Laserhöhenmodelle nahe kommen und die für die Berechnung eines True-Orthophotos genutzt werden können.

8 Bit oder 11 bzw. 12 Bit

In beiden Untersuchungsgebieten haben die Orthophotos eine Farbtiefe von 8 Bit, das heißt jedes Pixel hat maximal 255 Grauwerte. Für das menschliche Auge scheint das auf den ersten Blick ausreichend, auch wenn der Unterschied zwischen 8 und 11 Bit (2048 Grauwerte pro Pixel) bereits mit dem bloßen Auge anhand der Kontrastschärfe erkennbar ist. Für den von uns eingesetzten Algorithmus zur Erkennung der Einzelbäume im Bild ist dieser Informationsverlust von großer Bedeutung. In der Regel nehmen neue Kamerasysteme Bilder mit 11 oder 12 Bit auf, leider werden diese dann häufig auf Kundenwunsch auf eine Farbtiefe von 8 Bit reduziert, um die Bilder auch in einfacheren GIS und Bildbearbeitungsprogrammen einlesen zu können. Eine kleine "Extension" reicht übrigens für ArcView Nutzer aus, um auch 16 Bit Dateien lesen zu können (11/12 Bit Aufnahmen werden i.d.R. in das gängige 16 Bit Dateiformat hochgerechnet).

LiDAR Punktdichte und Höhengenaugigkeit

Grundsätzlich gilt: je höher die Punktdichte desto mehr Information steht zur Verfügung. Das betrifft besonders die für das Verfahren wichtige Berechnung des Geländes, das v.a. unter dichten Waldbeständen und bei einem kleinräumig stark wechselnden Relief oft nur unzureichend durch wenige auf den Boden fallenden Laserpunkte repräsentiert wird. Ein aus weit voneinander liegenden Bodenpunkten interpoliertes Gelände ist die häufigste Ursache für Fehler der darauf aufbauenden Baumhöhenberechnung.

Es kann jedoch auch davon ausgegangen werden, dass sich dieser Fehler innerhalb eines Bestandes ausgleicht, d.h. die Interpolation der Bodenpunkte zu einem Geländehöhenmodell kann in gleichem Maße zu einer Über- als auch Unterschätzung des zwischen den Laserbodenpunkten liegenden Geländes führen.

Weniger problematisch ist die Repräsentanz des Kronenraums, da dort in der Regel genügende Laserpunkte für die Berechnung der Baumhöhen reflektiert werden. Die vertikale Genauigkeit der Lasermessung liegt im Zentimeterbereich und hängt im wesentlichen von der Flughöhe und dem Scanner selbst ab. Wichtig ist jedoch zu wissen, dass nur mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit der Laserstrahl von der Terminalknospe der Baumkrone reflektiert wird. In der Regel stammen die ersten Impulse des Lasers von den obersten Astquirlen, d.h. es kann von einer systematischen Unterschätzung der Baumhöhen - je nach Baumart und Zuwachsleistung im Dezimeterbereich - ausgegangen werden.

Diesem Umstand wurde bei der Auswertung in Reinhardtsdorf sowohl bei der Berechnung des Oberflächenmodells als auch durch einen pauschalen Baumhöhenzuschlag von 30 cm Rechnung getragen. Erstaunlicherweise wurde bei dem nach der LiDAR Auswertung stattgefundenen Vergleich mit den Baumhöhen der aktuellen Forsteinrichtung festgestellt, dass die korrigierten Laserhöhen tendenziell höher liegen als die Baumhöhen der Forsteinrichtung.

Die im Verlauf der Auswertung häufig diskutierte Frage, ob die im Bestand oder die über LiDAR gemessenen Baumhöhen die genaueren sind, kann ohne wissenschaftliche Untersuchungen hier nicht endgültig beantwortet werden. Aber jeder Forsteinrichter kennt die Schwierigkeiten bei der exakten Ermittlung der Baumhöhen, die v.a. im unwegsamen, steilen Gelände, sowie in dichten Beständen ohne freien Blick zur Baumspitze auftreten. Die Fehler der LiDAR Höhen von Einzelbäumen können wie bereits erwähnt an einer ungenauen Geländehöhe im Bereich des Stammfußes sowie an einer verfehlten Reflektion des Laserstrahls von der Terminalknospe festgemacht werden. Bei der bestandesweisen Betrachtung minimieren sich jedoch diese Fehler allein schon aufgrund der Tatsache, dass bei einer guten LiDAR Auswertung 90 bis 100% der herrschenden und mitherrschenden Einzelbäume Höhenvermessen werden und damit der Stichprobenumfang - im Gegensatz zu den terrestrischen Messungen - bereits den größten Teil der Gesamtpopulation umfasst.

Die unterschiedliche Punktdichte der Laserdaten (FALCON II in Reinhardtsdorf 2-18 Punkte / qm, Topscan in Eibenstock im Durchschnitt 1,4 Punkte / qm) war für unsere Auswertung weniger bedeutend als dies die oben gemachten Aussagen hätten vermuten lassen. Mit beiden Datensätzen konnten die zur Berechnung der Oberhöhe verwendeten höchsten Bäume eines Bestandes automatisch erfasst und vermessen werden. Das "Handling" der gleichmäßiger verteilten Topscan Laserpunkte war auch aufgrund der geringeren Datenmenge einfacher als bei den ungleichmäßiger über die Fläche verteilten Punkten des FALCON II Scanners. Bei diesen im "Swing Mode" aufgezeichneten Daten war zudem eine systematisch auftretende lineare Höhenverschiebung zu erkennen, die auch auf den daraus errechneten Höhenmodellen abgebildet wurde (siehe Abb. 3.1 und 3.3), was wiederum die weitere Auswertung der Kronen- und Geländemodelle stark beeinträchtigt hat.

ETRS89 / UTM versus Gauß-Krüger

Die Wahl des geeigneten Projektionssystems ist ein wichtiger erster Schritt der Planung. Die Weichen wurden mit der INSPIRE Initiative der EC in Richtung europäisches terrestrisches Referenzsystem (ETRS) gestellt. Für die praktische Arbeit ist die Frage, ob GK oder ETRS, allerdings zweitrangig, sofern alle benötigten Daten (Orthophotos, Satellitenbilder, LiDAR, GIS) im gleichen System vorliegen. Unterschiedliche Systeme haben in Reinhardtsdorf zu einem Mehraufwand an Arbeit geführt und im Falle von notwendigen Umrechnungen in andere Bezugssysteme auch zu gewissen Ungenauigkeiten.

LiDAR und CIR Aufnahmezeitpunkt

Beide Datensätze sollten nach Möglichkeit zum gleichen Zeitpunkt aufgenommen werden, am besten während eines Überfluges bei dem LiDAR Scanner und Kamera gemeinsam an Bord sind, wie im Falle Reinhardtsdorf geschehen (da LiDAR auch bei Nacht geflogen werden kann und oft eine andere Flughöhe verlangt als der Bildflug, ist dies aber nicht immer die wirtschaftlichste Lösung). An dieser Stelle sollte man auch die Möglichkeit in Betracht ziehen, ganz auf eine LiDAR Befliegung zu verzichten, wenn ein für bestimmte forstliche Auswertungen brauchbares Kronenmodell auch bereits auf Grundlage von multi.overlap DMC Kamerasysteme berechnet werden kann.

Im Falle von Eibenstock wurden die Luftbilder ein Jahr nach den Laserdaten aufgenommen. In einigen wenigen Windwurfflächen wird dieser Unterschied deutlich, dort sind stehende Bäume im Laser Kronenmodell zu sehen, die im Orthophoto bereits auf dem Boden liegen. Insgesamt war dieses räumlich begrenzte Problem aber von marginaler Bedeutung für die Auswertung.

ForstGIS Geometrie versus LiDAR/CIR Geometrie

Die Übereinstimmung der ForstGIS Polygone (Bestandespolygone, Abteilungsgrenzen) mit den aus dem CIR und Lasermodellen berechneten Bestandesgrenzen und Einzelbäumen liegt zwar im Bereich der forstlichen Genauigkeitsanforderungen. Bei einer automatisierten Auswertung auf Grundlage von Einzelbäumen (wie im folgenden dargestellt) kann eine Lageverschiebung von wenigen Metern aber bereits zu Fehlern in der Vorratsberechnung führen, wenn z.B. wenige alte Bäume entlang der Bestandesgrenze einem Nachbarbestand zugerechnet werden, der im Extremfall aus einer Kultur- oder Kahlfläche besteht (die Oberhöhe der Kulturfläche würde dann durch die alten Bäume des Nachbarbestandes bestimmt). Dies kam vereinzelt in Eibenstock vor, wo - im Gegensatz zu Reinhardtsdorf - das ForstGIS Bestandespolygon als Bezugsfläche für die Bonitierung und Vorratsberechnung genutzt wurde.

3. Verfahrensbeschreibung

Vom Flugzeug aus werden alle morphologischen Details des Waldbodens und der Kronenoberfläche durch eine dreidimensionale Laserpunktwolke und digitale Farbinfrarotbilder (auch Satellitenbilder sind hier übrigens einsetzbar) erfasst und durch den Computer automatisch vermessen, wie z.B. die Baumhöhe und -krone, horizontale und vertikale Bestandesstrukturen, sowie Wege, Rückegassen oder Geländebrüche etc.. Auf dieser Grundlage lassen sich alle Einzelbäume nach Baumhöhe und Baumartengruppe und alle Bestände sowie das gesamte Wegenetz (einschließlich Rucke- und Pflegegassen) nach Hangneigung, Exposition und Steigung klassifizieren und als GIS Datei abspeichern.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Methoden der Forsteinrichtung werden bei diesem Verfahren Baumhöhe und Kronenfläche aller herrschenden und mitherrschenden Bäume eines Bestandes mit einer Genauigkeit vermessen, die mit terrestrischen Methoden u.E. nicht erreicht werden können. Die so vom Laser erfassten Werte dienen zur Herleitung einer Fülle forstlicher Parameter auf Bestandes bzw. Einzelbaum Ebene.

Einzelbaumerkennung für Bestandesbonitierung und Vorratsberechnung

In Reinhardtsdorf wurde ein von landConsult entwickelter Algorithmus für die Definiens Developer Software zur automatischen Erkennung von Baumkronen angewandt, der auf Grundlage von hochaufgelösten digitalen True-Orthophotos oder Satellitenbildern (Quickbird) Bildinformationen des Nahen Infrarots auswertet. Die Programm Routine erzeugt eine GIS Datei im shape Format mit den automatisch erfassten Baumkronen, sowie der dazugehörigen Baumhöhe (siehe Abb. 3.2 und 4.1). Die Höheninformation stammt aus dem normalisierten Oberflächenmodell (nDSM), das aus den Laserdaten interpoliert wurde (Abb. 3.1).

In Eibenstock konnte dieses Verfahren aufgrund des fehlenden True-Orthophotos nicht angewandt werden. Stattdessen wurde die Lage und Höhe der Einzelbäume mittels eines *local-maxima* Algorithmus direkt aus dem normalisierten Oberflächenmodell berechnet (siehe Abb. 5.2).

Für jeden Bestand (in Eibenstock wurden die Bestandespolygone der FE benutzt, in Reinhardtsdorf wurden die Bestände auf Basis der vermessenen Einzelbäume sowie der CIR und LiDAR Information halb-automatisch am Bildschirm abgegrenzt) wurde die mittlere Höhe der einhundert höchsten Bäume pro ha berechnet und zusammen mit dem Alter als Eingangsgröße für die Ertragstafel genutzt, um den Vorrat je ha zu berechnen. Der Ertragstafelvorrat wurde anhand der tatsächlichen Beschirmungsfläche der Baumart und unter Berücksichtigung der Blößen auf die Bestandesfläche hochgerechnet (siehe Abb. 5.3. - 5.10).

Die automatische Trennung der Baumarten wurde anhand des NDVI Wertes berechnet, da in beiden Fällen die Orthophotos Ende April aufgenommen wurden, und die Laubbäume noch kein Laub trugen.

Was mit den ausgewerteten LiDAR/CIR Daten möglich ist

- Geographische Erfassung (x/y/z-Koordinaten) aller im Laser/Spektralbild sichtbaren Einzelbäume und Trennung von Laub- und Nadelholz (je nach Datengrundlage ist eine differenziertere Baumartentrennung möglich).
- Berechnung der Einzelbaumhöhen und differenzierte Darstellung der Bäume nach Höhe, Standraum und Baumartengruppe im GIS (z.B. Karte der Überhälter oder Lage der für die Höhenbonitierung verwendeten Bäume im Bestand, etc.).
- Bestimmung des Laubholz-/Nadelholz Anteils, des Überschirmungsgrades und des Flächenanteils der Blößen.
- Berechnung der Bestandesmittel und -oberhöhe als mittlere Höhe der 100/200 oder 20% höchsten Bäume je ha und Bestand. Statistische Auswertung der Höhen (Standardabweichung, Varianz, Maximum, Minimum, Spannbreite).
- Oberhöhenbonitierung und Ableitung des stehenden Holzvorrats über die mittlere Bestandesoberhöhe, das Bestandesalter und die Ertragstafeln oder Alters unabhängig über die Abschätzung der Einzelbaumvolumen.
- Ausscheidung von Waldteilen homogener Struktur bezüglich Bestandesdichte, Bestandeshöhe, Baumart und vertikaler Struktur. Halbautomatische Bestandsabgrenzung.
- Bestandesweise Darstellung der Hangneigung, der Exposition, der potentiellen Bodenfeuchte und von Wasserabflussrinnen.
- Erfassung von Fahr-/Maschinenwegen und Pflgetrassen, klassifiziert nach Steigungsklassen und -richtung. Optimierung der Einschlagplanung durch Festlegung von Rückescheiden.

4. Abgrenzung homogener Baumgruppen und Bestände

Ganz entscheidend für die Vorratsberechnung auf Grundlage der Ertragstafeln ist die Wahl der Bezugsfläche. Da das Ertragstafelmodell den Annahmen des Altersklassenwaldes folgt, ist es wichtig, innerhalb der Waldbestände homogene Gruppen abzugrenzen, die diesen Annahmen möglichst nahe kommen. Solche Gruppen können aufgrund ihres Alters (sofern aus den FE Daten ableitbar) und der mit LiDAR gemessenen Baumhöhe bonitiert werden. Mit der Baumart (eingeschränkt aus der CIR Auswertung zu ermitteln und ergänzend aus der FE), der Oberhöhe (aus LiDAR) und dem Alter als Eingangsgrößen wird der Vorrat (Vfm/ha) über die entsprechende Ertragstafelfunktion berechnet und unter Berücksichtigung des Beschirmungsgrades (aus LiDAR und CIR) und der Blößen auf die Fläche hochgerechnet.

Entsprechend der Auftragsbeschreibung wurde die Abgrenzung solcher homogener Bestände in Reinhardtsdorf von landConsult ohne Kenntnis der Forsteinrichtung lediglich anhand der Information aus den Laser- und Bilddaten durchgeführt. Folglich ist in denjenigen Beständen, die sich nicht mit den Forsteinrichtungsbeständen decken, eine Bonitierung aufgrund des nicht eindeutig zuzuordnenden Alters sowie ein aussagekräftiger Vergleich der bestandesweisen Vorratsberechnung mit den FE Werten schwierig.

Im Falle von Eibenstock lag die Bestandesabgrenzung der FE bereits zu Beginn der Auswertung vor und für die Anwendung des Ertragstafel Verfahrens wurde zunächst davon ausgegangen, dass die Bestandespolygone mindestens bezüglich der Baumhöhe homogene Bestände abgrenzen. In der sächsischen *Arbeitsanweisung zur bestandesweisen Zustandserfassung und Planung (Entwurf 2005, S. 19)* heißt es hierzu: "Der Bestand als waldbauliche Kategorie ist ein Merkmal der horizontalen Struktur einer Teilfläche. (..) Grundsätzlich sollte ein Bestand eine Teilfläche bilden ...". An anderer Stelle ist festgelegt, dass eine Teilfläche aus einem Hauptbestand und maximal zwei Nebenbeständen bestehen kann. Aufgrund des sich historisch verändernden Waldbildes wurden in vielen Beständen die genannten Nebenbestände im Forsteinrichtungswerk ausgewiesen und tabellarisch beschrieben. Oberhöhe, Baumartenanteile, Fläche und Vorrat wurden separat berechnet, ohne dass eine eigene Abgrenzung im GIS erfolgte. Das heißt, das Bestandespolygon, das bei der LiDAR Auswertung als Bezugsfläche für die Vorratsberechnung diente, ist nicht mit den Bezugsflächen der Forsteinrichtung (das sind die beschriebenen Nebenbestände) identisch. Ein Vergleich ist daher nur in solchen Beständen aussagekräftig, in denen keine Nebenbestände ausgewiesen sind.

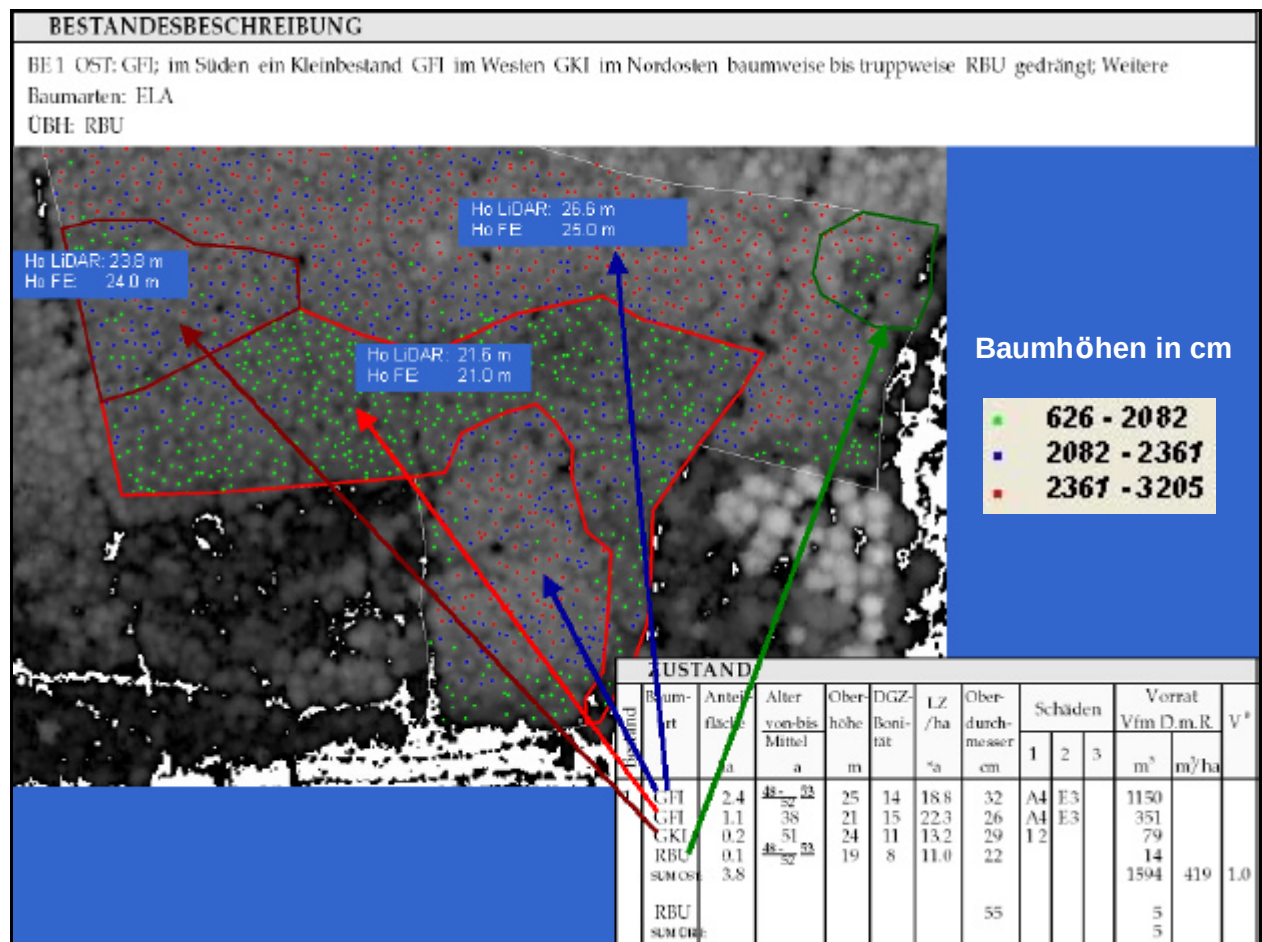


Abb. 0.2: Auf dem Kronenmodell eines ausgewählten Bestandespolygons in Eibenstock wird deutlich, dass der im FE Werk und im ForstGIS als eigenes Bestandespolygon (weiße Linie) abgespeicherte Bestand bezüglich der Bestandeshöhe nicht homogen ist. Vom Forsteinrichter wurden daher drei Nebenbestände ausgewiesen, die verbal und tabellarisch beschrieben, nicht jedoch als eigene Fläche, bzw. GIS Polygon abgespeichert sind. Die roten und das grüne Polygon sind lediglich zur Verdeutlichung der ungefähren Lage der Nebenbestände vom Autor als Grafik eingefügt worden, sie sind aber nicht als Nebenbestandespolygone im GIS abgespeichert und können daher auch nicht als Bezugsfläche für die CIR/LiDAR gestützte Vorratsberechnung dienen. "Ho LiDAR" ist die nachträglich für diese Nebenbestände berechnete LiDAR Oberhöhe, "Ho FE" ist die Oberhöhe der FE.

In einer sinnvollen - nach Möglichkeit automatisch durchzuführenden - Abgrenzung homogener Baumgruppen oder Bestände liegt der Schlüssel zur Verbesserung der Zuverlässigkeit dieses auf Ertragstafelmodellen basierenden Verfahrens. Bei der Verfahrensbeurteilung muss man sich allerdings auch die Frage stellen, wie geeignet Ertragstafeln für die zukünftige Waldwirtschaft überhaupt noch sind. Wie wir am Beispiel einiger Bestände in Reinhardtsdorf gezeigt haben, lässt sich das Stammvolumen aller erfassten Bäume eines Bestandes auch als Funktion der Baumhöhe und des Standraumes, bzw. des h/d Verhältnisses darstellen. Dieser Ansatz setzt allerdings voraus, dass alle vorratsrelevanten Bäume (auch Unterständler) erfasst und vermessen werden, was mit den derzeit verfügbaren Laserdaten nur in einschichtigen Nadelaltbeständen gut möglich erscheint. Zudem Bedarf dieser Ansatz, wie auch die Herleitung des BHD als Funktion aus Kronenfläche und Baumhöhe, weiterer wissenschaftlicher Untersuchungen und praktischer Erprobungen.

5. Abbildungen zu den Bild- und Laser gestützten Verfahren

Einzelbaumerkennung aus dem Satelliten- oder Luftbild

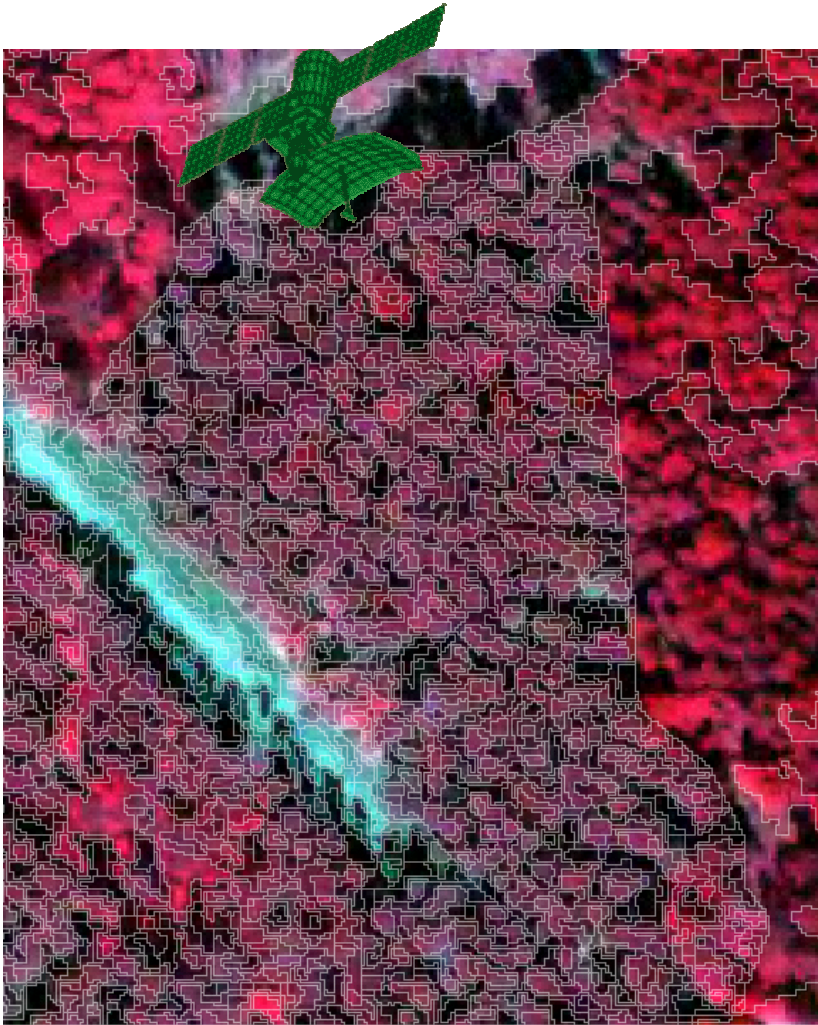


Abb. 1.1:

Vom Satelliten Quickbird aufgenommenes Infrarotbild eines bewaldeten Gebietes mit einer Bodenauflösung von ca. 60 cm im PAN. Weiße Linien: Automatische Einzelbaumerkennung mittels Objekt basierter Kronensegmentierung (OBIA) im Definiens Developer. Die Erkennungsrate liegt je nach Bestand zwischen 92 - 97%

Die Preise für Quickbird Satellitenbilder liegen je nach Bewaldungsprozent und Aktualität der Aufnahme zwischen 12 und 30 Eurocent/ha (Stand 2006).

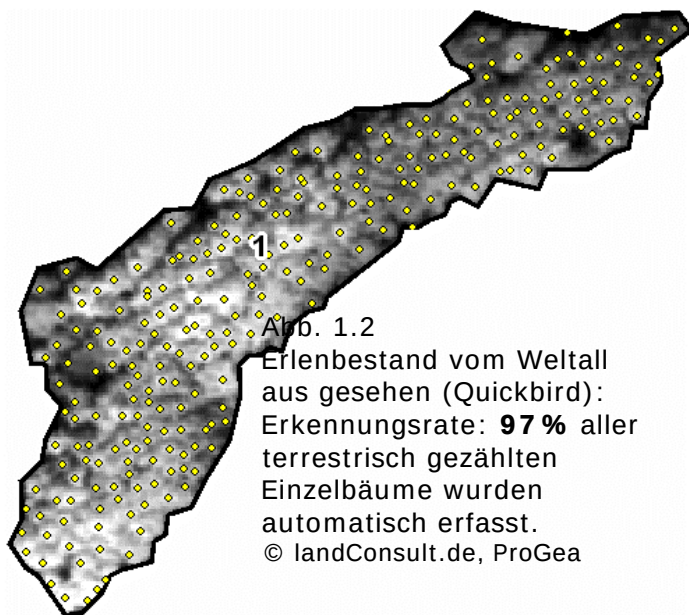


Abb. 1.2

Erlenbestand vom Weltall aus gesehen (Quickbird): Erkennungsrate: **97 %** aller terrestrisch gezählten Einzelbäume wurden automatisch erfasst.
© landConsult.de, ProGea

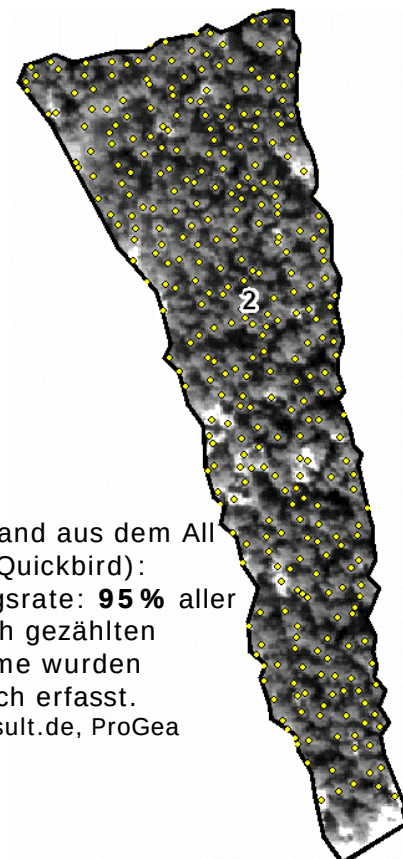


Abb 1.3

Kieferbestand aus dem All gesehen (Quickbird): Erkennungsrate: **95 %** aller terrestrisch gezählten Einzelbäume wurden automatisch erfasst.
© landConsult.de, ProGea

Auswertung von LiDAR und Farbinfrarot Luftbilder

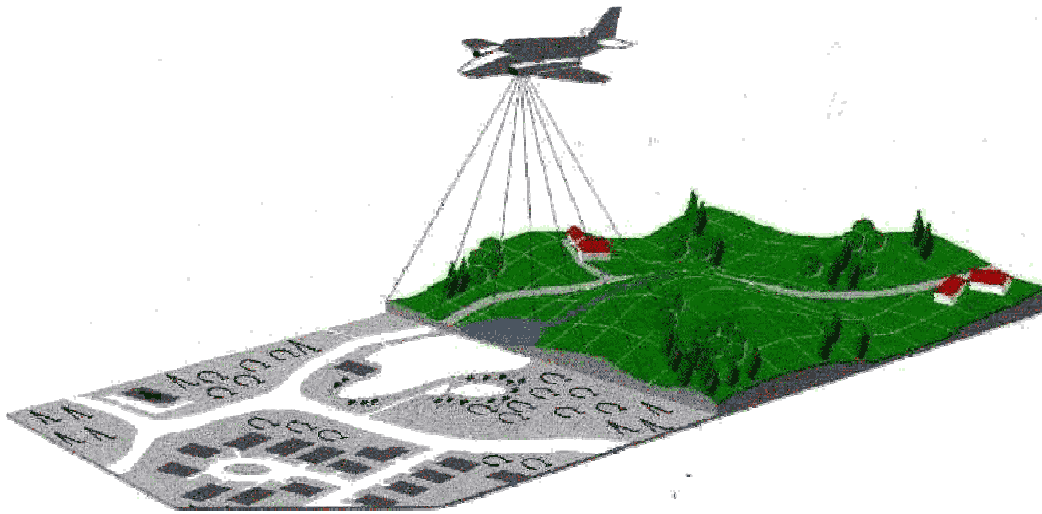


Abb. 2.1: Die Erdoberfläche wird vom Flugzeug aus "gescannt", es werden digitale Farbinfrarot Luftbilder und Laser Höhenpunkte aufgezeichnet. © TopoSys.

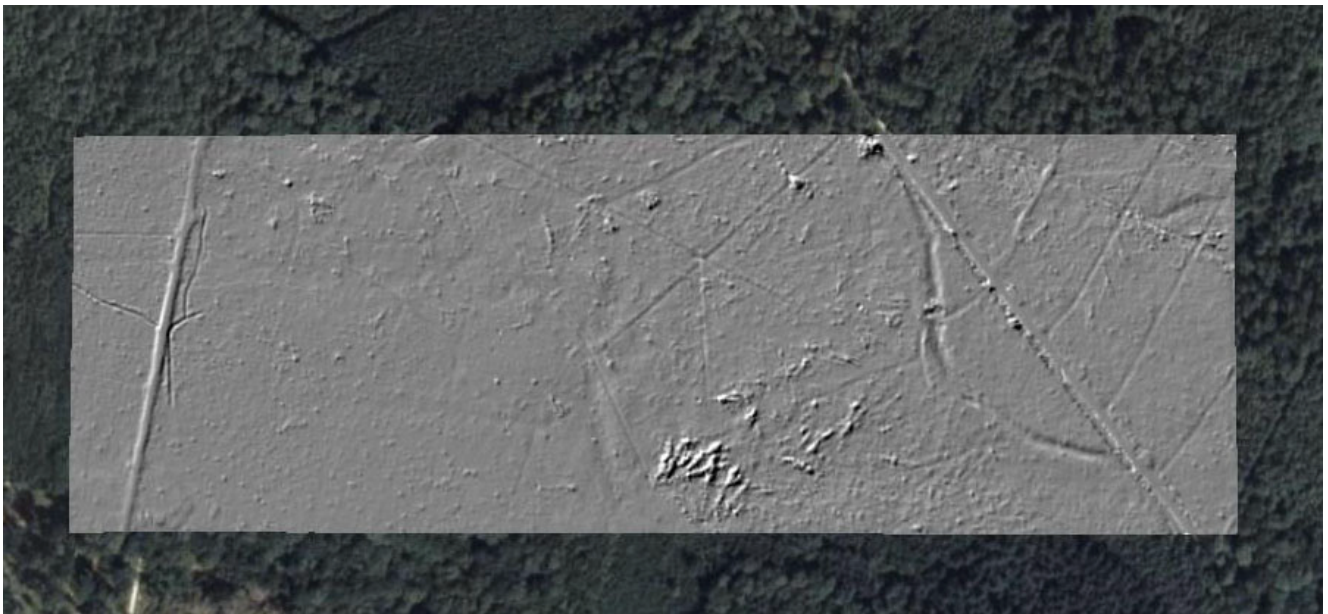


Abb.2.2: Aus der Laser Punktwolke erzeugtes Geländemodell (graues Rechteck), das auch unter dem Wald (grüner Hintergrund) "verborgene" Strukturen hervorhebt. © TopoSys, landConsult.de.

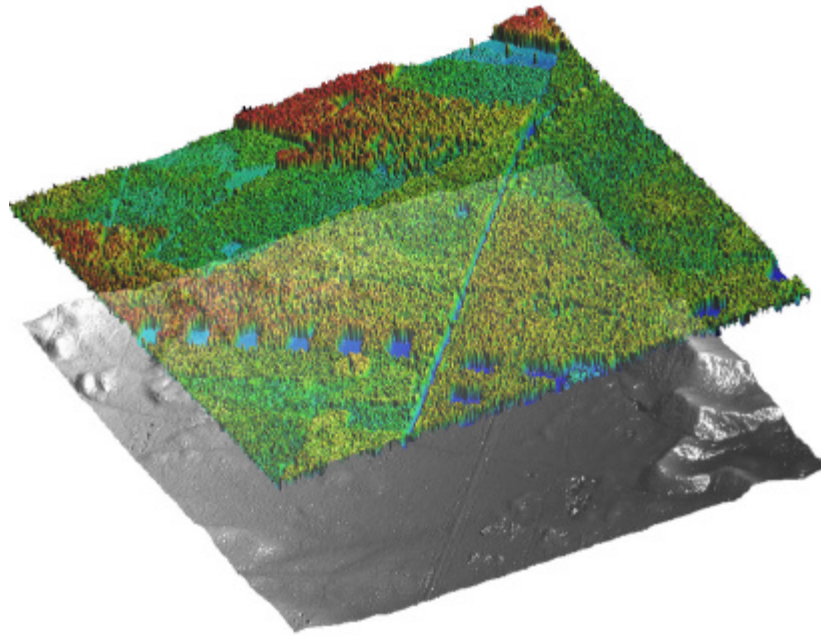


Abb. 2.3: Aus den Laserhöhenpunkten wird ein Oberflächen- und ein Geländemodell gerechnet. Das normalisierte Oberflächenmodell (nDSM), das die einzelnen Baumhöhen repräsentiert, ergibt sich aus der Subtraktion des Geländemodells vom Oberflächenmodell. © ProGea

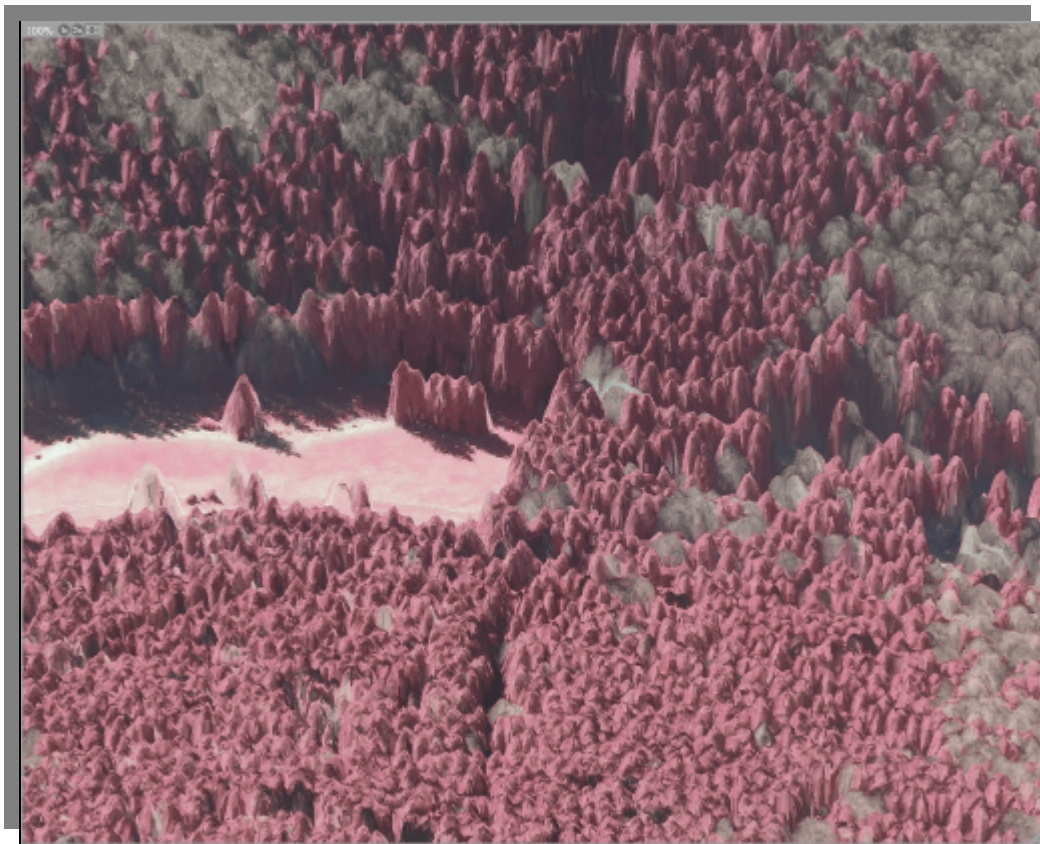


Abb. 2.4: CIR/LiDAR Ausschnitt Eibenstock. Durch Überlagerung des Oberflächenmodells mit dem CIR Luftbild entsteht ein photorealistischer 3D Eindruck eines messbaren Waldmodells. Nadelholz zeichnet sich in dem Ende April aufgenommenen CIR Luftbild rot ab, Laubholz erscheint grau.

Reinhardtsdorf: Verarbeitung von CIR und LiDAR Daten mittels OBIA und GIS für die Kartierung der Bestände und Wege

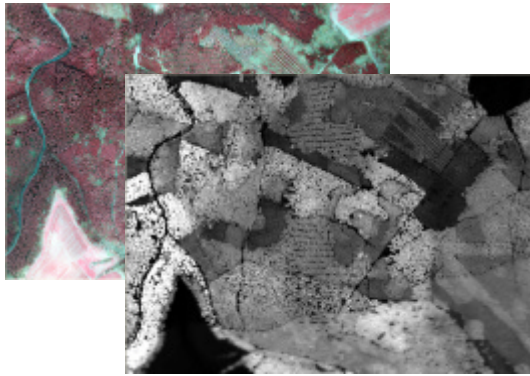


Abb. 3.1: CIR True-Orthophoto (Hintergrund) und Kronenmodell aus LiDAR Daten (Vordergrund).

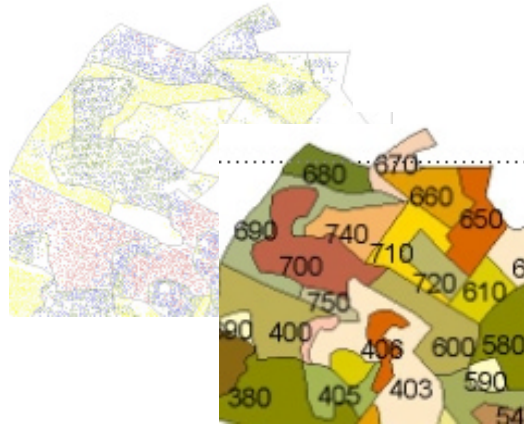


Abb. 3.2: Klassifizierte Einzelbaumhöhen (Hintergrund) und halbautomatische Bestandsabgrenzung (Vordergrund.)

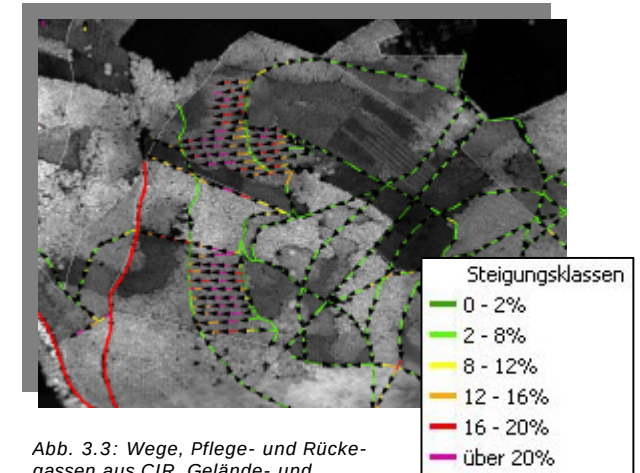


Abb. 3.3: Wege, Pflege- und Rückegassen aus CIR, Gelände- und Kronenmodell vermessen und nach Steigungsklassen und -richtung klassifiziert

Reinhardtsdorf: Einzelbaumvermessung mittels OBIA und GIS

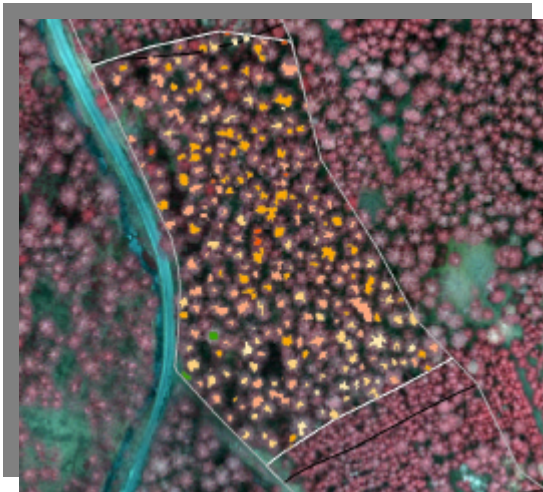


Abb. 4.1: Automatische Detektion des Kronenzentrums mittels OBIA (Definiens Developer). Die verschiedenen Farben zeigen die unterschiedliche Chlorophyll Aktivität (NDVI Wert), womit in einem Winterbild jede Krone einer Baumartengruppe zugeordnet werden kann.



Abb. 4.2: Vermessung und Darstellung der Höhe der Einzelbäume im GIS. Jeder Baum ist mit seiner Höhe in Meter beschriftet.



Abb. 4.3: Berechnung und Darstellung der Einzelbaumvolumen im GIS. Jeder Baum ist mit seinem Volumen in Vorratsfestmeter beschriftet.

Eibenstock: Verfahren zur Ermittlung des Bestandesvorrats über die Ertragstafel

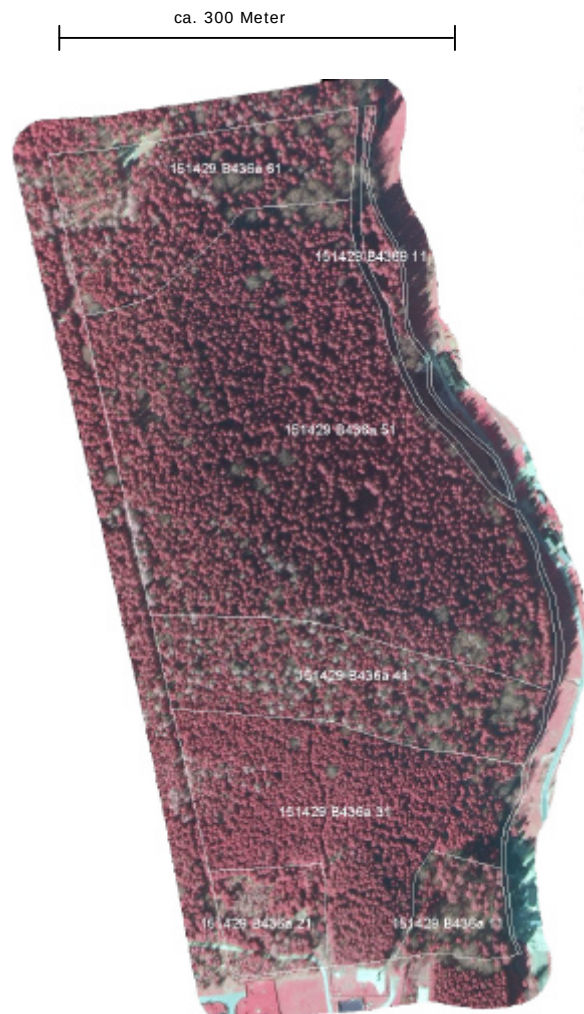


Abb. 5.1: Das Farbinfrarot Luftbild zeigt die Bestandesgrenzen in einer ca. 21 ha großen Abteilung des rund 250 ha großen Gesamtgebietes.

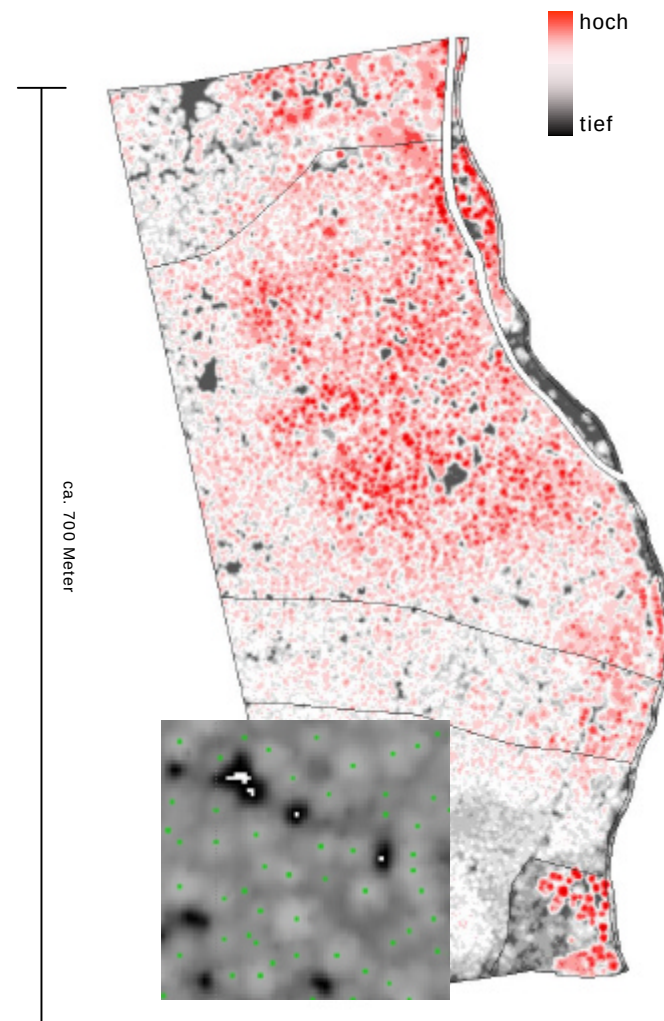


Abb. 5.2: Das normalisierte Oberflächenmodell (nDSM) wurde aus Laserpunkten mit einer Dichte von ca. 1.4 Pkt/qm errechnet. Rote Flächen zeigen die höchsten Bäume an, graue Flächen stehen für niedrige Bereiche, schwarze Flächen zeigen den Boden. In diesem Beispiel wurden die Einzelbäume allein auf Grundlage der Laserpunkte und ohne Informationen aus dem Luftbild ermittelt, wie dies im kleinen Bildausschnitt zu sehen ist.



Abb. 5.3: Laubholz (grüne Flächen) abgeleitet aus dem CIR Bild und Blößen (braune Flächen) berechnet aus dem normalisierten Oberflächenmodell (nDSM) als Bereiche, wo die Vegetation niedriger als 2 Meter ist (dieser Höhenwert ist flexibel veränderbar).

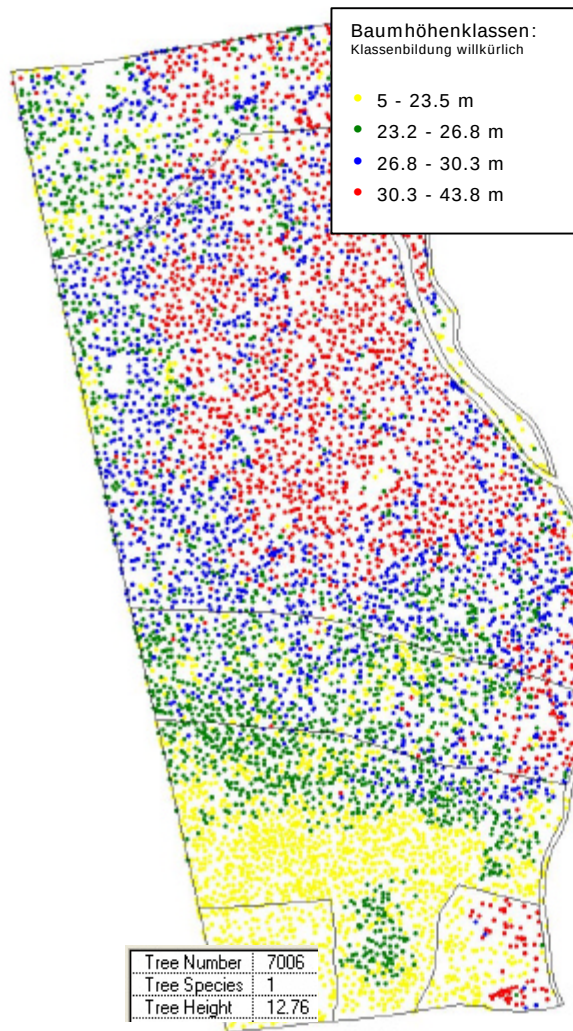


Abb. 5.4: Lage und Höhe der Einzelbäume, die in diesem Beispiel mittels eines *local maxima* Algorithmus aus dem nDSM berechnet wurden. Aus den Einzelbaumhöhen lässt sich die Bestandesmittelhöhe und die mittlere Oberhöhe bzw. Spitzenhöhe berechnen, die als Grundlage für die Bonitierung der Bestände genutzt werden kann. Jeder Baum wird mit einer eigenen ID, seiner Höhe und der Baumart in der GIS Datenbank registriert.

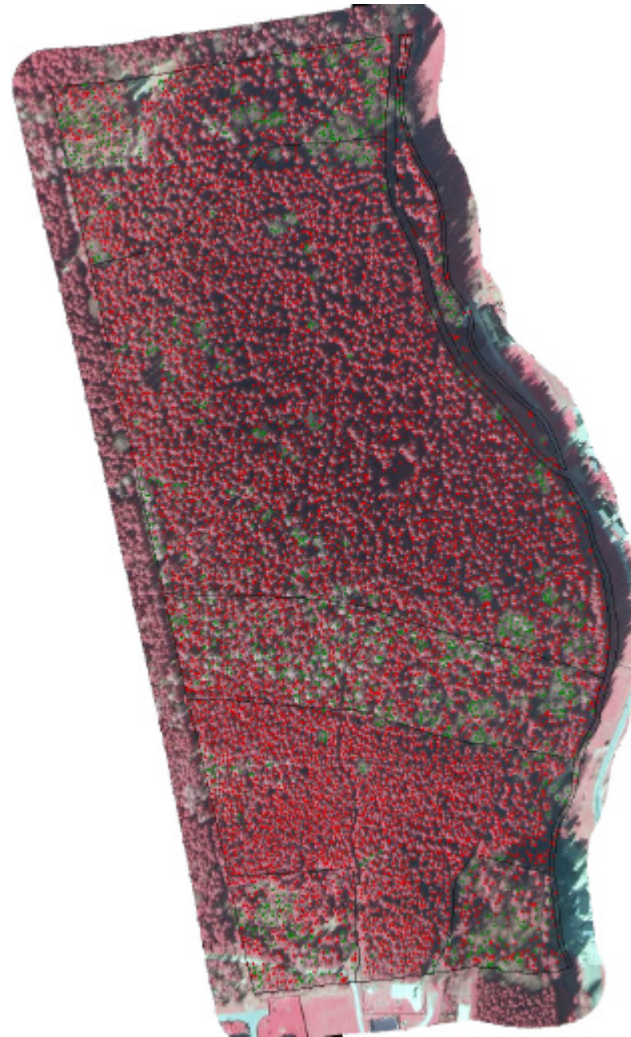


Abb. 5.5: Das Luftbild mit den Einzelbäumen. Rote Punkte stehen für Nadelbäume, grüne Punkte für Laubbäume.

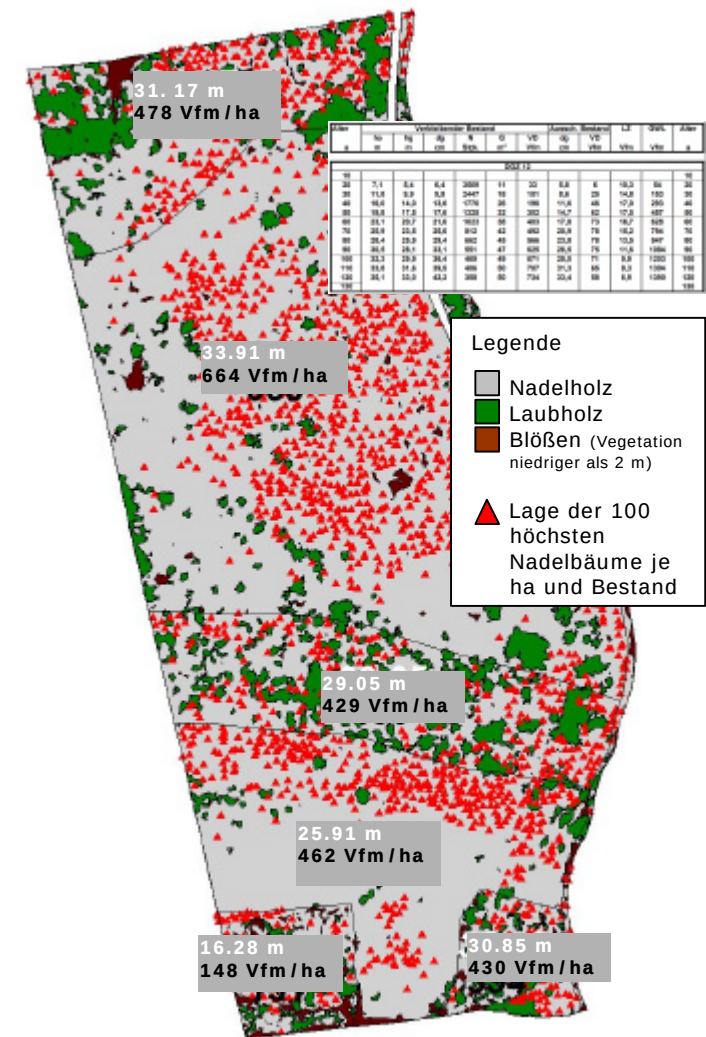


Abb. 5.6: Karte des berechneten Nadelholzvorrates (Vfm/ha, schwarze Ziffern) je Bestand unter Berücksichtigung des Ndh Flächenanteils (graue Flächen) und der mittleren Höhe der 100 höchsten Nadelbäume je Bestand und ha (weiße Ziffern). Die roten Dreiecke bezeichnen die Lage dieser für die Bonitierung verwendeten Nadelbäume. Grüne Flächen sind Laubholz, braune Flächen sind Bereiche, wo die Vegetation niedriger als 2 m ist (Blößen).

Eibenstock: Einsatz des Verfahrens zur Ermittlung des Bestandesvorrats über die Ertragstafel auf großer Fläche

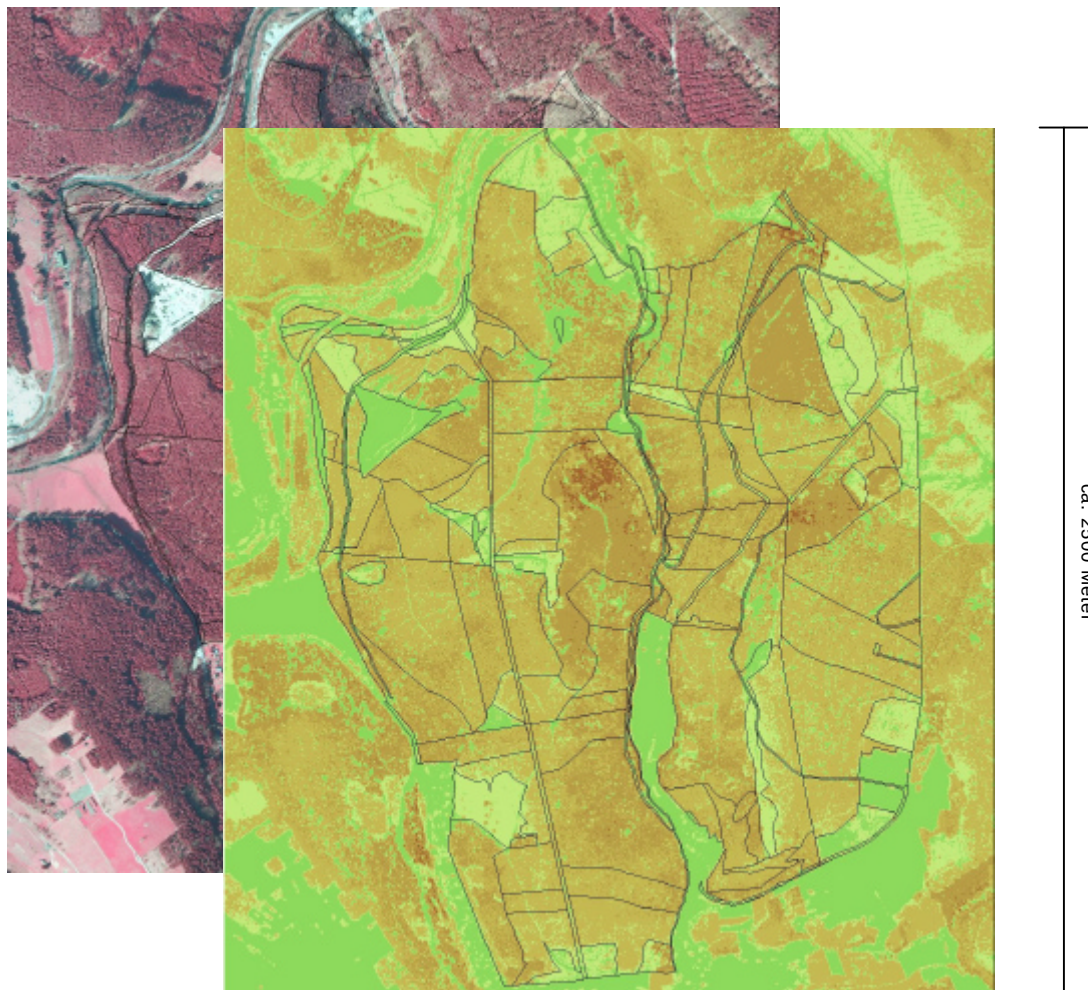


Abb. 5.7: CIR Orthophoto Mosaik (Hintergrund) und Kronenoberflächenmodell mit den Bestandesgrenzen eines ca. 270 ha großen Waldgebietes im FoB Eibenstock. Die in den Abbildungen 5.1 - 5.6 gezeigte Abteilung ist am unteren Bildrand wiederzuerkennen.

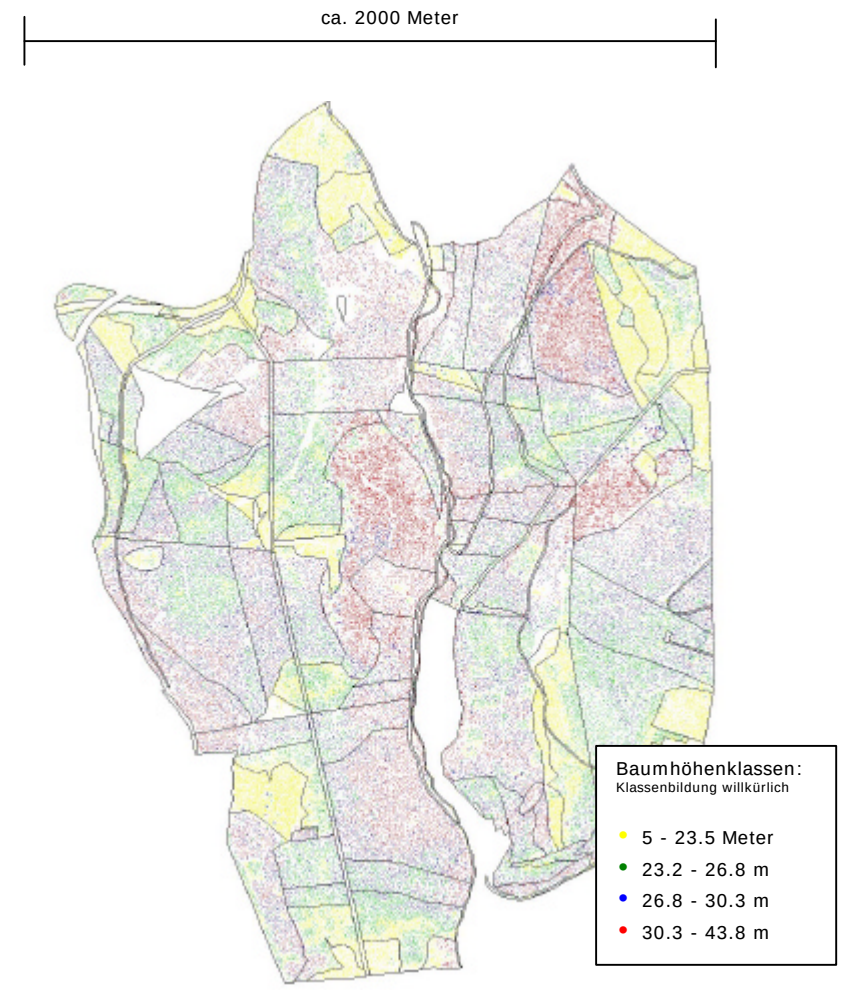


Abb. 5.8: Insgesamt wurden in diesem Beispiel rund 95.000 Einzelbäume automatisch lokalisiert und ihre Höhen vermessen. Auf Grundlage dieser Einzelbaumhöhen kann der Vorrat für jeden Bestand getrennt nach Laubholz und Nadelholz über die jeweilige Oberhöhe und die Ertragstafel ermittelt werden. Das Verfahren der Einzelbaumerkennung ist robust und für die Auswertung mehrere Tausend Hektar geeignet.

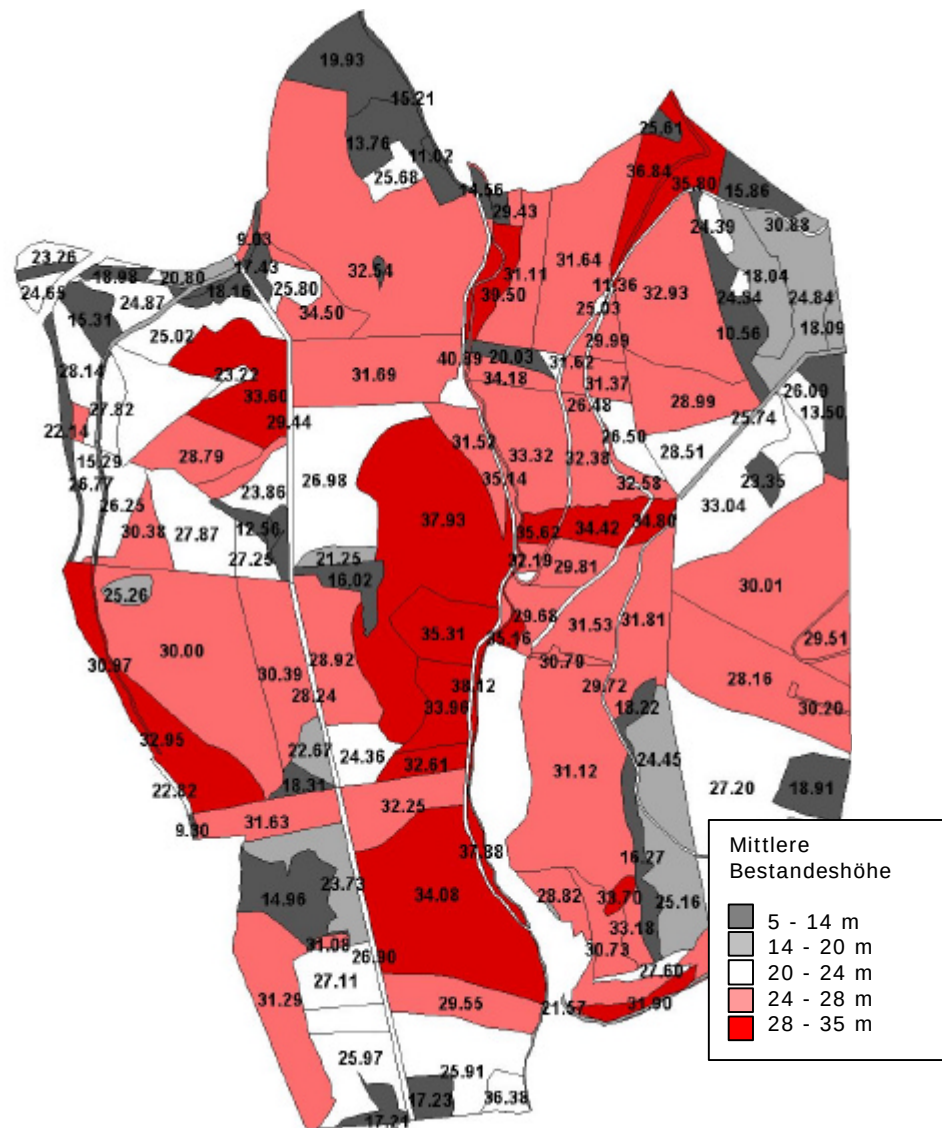


Abb. 5.9: Karte mit mittleren Bestandeshöhen (farbige Flächen) und mittleren Oberhöhen (schwarze Ziffern). Die Höhenverteilung kann zusätzlich durch Standardabweichung, Varianz, Minimum oder Maximum beschrieben und die Lage der entsprechenden Bäume auf der Karte dargestellt werden.

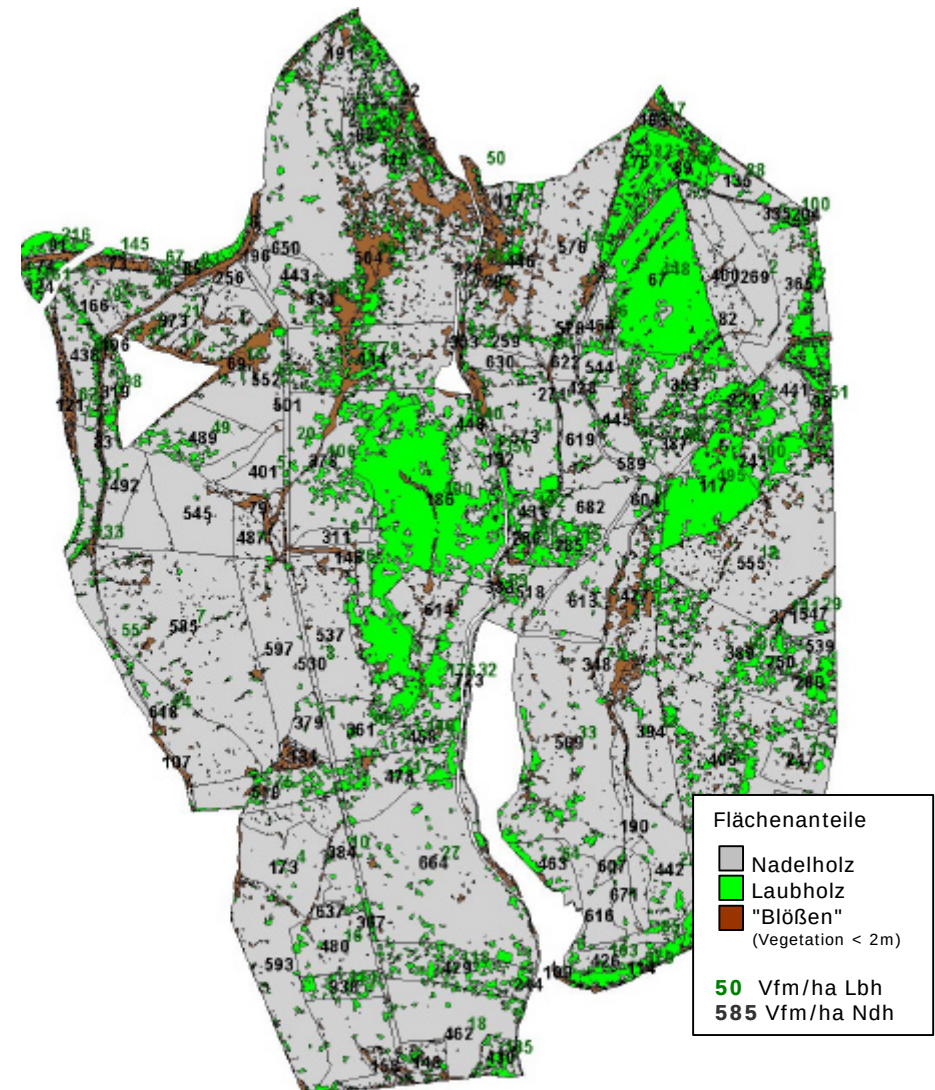


Abb. 5.10: Karte des Bestandesvorrats in Vfm/ha für Nadelholz (schwarze Ziffern) und Laubholz (grüne Ziffern) auf Basis regionaler Ertragstafeln und der tatsächlichen Flächenanteile je ha.

7. Schlussfolgerung und Ausblick

Die hier vorgestellten Laser- und CIR basierten Verfahren können die traditionelle Forsteinrichtung nicht ersetzen. Wichtige Informationen wie die Ansprache der Stammqualität, der Naturverjüngung oder des Wildverbisses etc. werden auch in Zukunft nur durch einen örtlichen Begang zu erheben sein. Das Verfahren kann jedoch die Forsteinrichtung ergänzen, wenn es darum geht messbare Grundlagendaten auf großer Fläche zu einem kostengünstigen Preis bereitzustellen. Hierzu zählt auch die Möglichkeit die aus LiDAR/CIR stammenden Daten langfrisitig für ein Monitoringsystem zu nutzen.

Grundlagen eines langfristigen Monitoringsystems

Die vorgestellten standardisierten Auswertungsmethoden ermöglichen den direkten Vergleich mit Laser- und Bilddaten späterer Jahre. Die georeferenzierten Ergebnisse bilden somit die Voraussetzung für ein Monitoringsystem, das sowohl für den klassischen Forstschutz als auch für Naturschutzaufgaben bestens geeignet ist. Durch die Kombination mit aktuellen und schnell verfügbaren Radar- und Satellitenbilddaten entsteht ein flexibles und reaktionsschnelles Verfahren zur Dokumentation von Veränderungen der Landoberfläche. Zu diesem Zweck eignen sich z.B. Radardaten (TerraSAR oder ALOS) die Wetter unabhängig genaue Daten der Waldoberfläche liefern, oder Quickbird Infrarot Satellitenbilder, die mit einer Bodenauflösung von 60 cm im panchromatischen Kanal der Qualität von Luftbildern nahe kommen und je nach Bewaldungsprozent und Aktualität der Bilder mit Kosten zwischen 12 - 30 Cent/ha eine kostengünstige Alternative zum Luftbild darstellen. RapidEye ist ein weiteres interessantes System, deren 5 Satelliten zur ständigen Überwachung der Landnutzung Mitte 2008 starten werden und zum ersten Mal die Möglichkeit eröffnen, den jährlichen Vegetationsverlauf in sehr kurzen Intervallen zu dokumentieren.

Vielfältige weitere Einsatzmöglichkeiten

Laser- und digitale Farbinfrarot Bilder können für weitere Auswertungen in den verschiedensten Bereichen genutzt werden:

- Naturschutz (z.B. automatische Erfassung von Flächen mit natürlicher Wiederbewaldung, detaillierte Erfassung von Biotopen, etc.)
- Kartographie (Erstellung von True Orthophotos und Orthophoto Bildkarten, Aktualisierung bestehender Karten, etc.)
- Stadtplanung (automatische Trennung von versiegelten und unversiegelten Flächen, automatische Gebäudedetektion und Update des Katasters, 3D Stadtmodelle, etc.)
- Energiewirtschaft (automatische Vermessung von Hochspannungsleitungen oder Windkraftpotentialen, etc.)
- Wasserwirtschaft (Abflussmodellierungen, etc.) oder
- Für landeskundliche Untersuchungen (Erkundung und Vermessung von Bodendenkmälern, etc.)

Vergleichender Kostenrahmen

Der finanzielle Rahmen für ein solches Vorhaben ist abhängig vom erwarteten Informationsgehalt der Ergebnisse und dem Preis vorhandener bzw. zu beschaffender Grundlagendaten.

Die kostengünstigste Variante ergibt sich durch die Verwendung bereits existierender Laserdaten. In Sachsen und Baden-Württemberg könnten bspw. die 2005 aufgenommenen Laserdaten des Landesvermessungsamtes zur bestandesweisen Ermittlung des Holzvorrates und zur automatischen Vermessung der Wege eingesetzt werden. Mit einer Laser und CIR Auswertung lässt sich zwar nur ein kleiner Teil der forstlichen Parameter erheben, die mit terrestrischen Stichproben erfasst werden, dafür erfasst die Laser/CIR Auswertung aber die gesamte Waldfläche. Zudem liegen die Kosten bei einem Bruchteil der Ausgaben für eine permanente Stichprobeninventur und sind auch noch deutlich günstiger als die vereinfachte modifizierte 6-Baum Stichprobeninventur.

Dabei liefert das Laser Scanning Verfahren im Gegensatz zu den Stichprobenverfahren genau vermessene Informationen zu den einzelnen Beständen und repräsentiert damit nicht nur den Gesamtbetrieb sondern eben auch einzelne Bestandestypen. Zur Verbesserung der Ergebnisse können die Daten nach Bedarf mit aktuellen Quickbird oder Ikonos Satellitenbilddauswertungen ergänzt werden.

Die zweite Alternative, bei der die Einzelbäume auf Basis neuester Bild- und Laserdaten vermessen werden, erfordert eine eigene Befliegung der Bestände. Allgemein gilt, je größer und kompakter die zu befliegende Fläche, desto geringer sind die Kosten je ha.

Für eine Mindestfläche von 5000 ha liegen die Gesamtkosten für diese zweite Variante - einschließlich Datenerfassung, Auswertung und Präsentation - schätzungsweise immer noch deutlich unter den Kosten des permanenten Stichprobenverfahrens, in etwa auf dem Niveau einer modifizierten 6-Baum Stichprobe. Auch hier gilt, dass die forstlichen Parameter für jeden Bestand bzw. Einzelbaum berechnet werden und nicht wie beim Stichprobenverfahren als statistischer Mittelwert der Betriebsklasse. Im Preis inbegriffen sind zusätzlich aktuelle Orthophotos, sowie ein hochgenaues Gelände- und Vegetationsmodell mit vielseitigen weiteren Auswertungsmöglichkeiten, wie oben näher beschrieben.

Die digitale Version dieses Dokuments gibt es auch unter <http://landconsult.de/segmentation>