

Abschlussbericht

Nutzung von Methoden der Fernerkundung auf ertragskundlichen Versuchsflächen

Erstellt für

Staatsbetrieb Sachsenforst
Kompetenzzentrum Wald- und Forstwirtschaft
Referat FGIS, Kartografie, Vermessung
Bonnewitzer Strasse 34
01796 Pirna OT Graupa

Ansprechpartner

Frau Karina Hoffmann
email: karina.hoffmann@smul.sachsen.de
tel.: (03501) 542260

Erstellt von

landConsult.de - Büro für Geographisches
Informationsmanagement, Umweltplanung und Beratung
Öhinghaltweg 3, D-77815 Bühl
Projektleitung: Dr. Markus Weidenbach
(bevollmächtigter Vertreter der Bietergemeinschaft)



ProGea Consulting - Ing. Büro für Geoinformatik
und Fernerkundung
ul. Pachonskiego 9, 31-223 Krakau, Polen
Projektleitung: Dr. Piotr Wezyk
Mitarbeiter: Piotr Tompalski, Msc. F. Ing.
Michal Ratajczak, Msc. F. Ing.



Bühl / Krakau, 23.12.2011

INHALTSVERZEICHNIS

1 Ziel des Vorhabens..... 3
2 Untersuchungsgebiet und verwendete Daten..... 4
3 Ergebnisse 9
4 Schlussfolgerung und Ausblick..... 35
5 Anhang..... 37

1 Ziel des Vorhabens

Laut Ausschreibungstext ist das

„Ziel der Untersuchungen (ist) die Visualisierung der Kronendimensionen der Einzelbäume im Oberstand sowie die automatisierte Erfassung von Einzelbaummerkmalen mittels Daten der Fernerkundung (digitale Luftbilddaten, Laserdaten, digitale Orthophotos).

Für die Erfassung der Parameter (...)

Baumhöhe

Kronenbreite

Kronenschirmfläche

Kronenlänge

Kronenmantelfläche

Baumposition

sind entsprechende automatisierte Verfahren zu entwickeln und zu testen. Die beschriebenen Merkmale sollen für die Weiterentwicklung von Einzelbaummodellen genutzt werden.

Grundsätzlich wird von Differenzen zwischen der terrestrischen und fernerkundungsdatenbasierten Herleitung ausgegangen. Diese Unterschiede sollen beschrieben und hinsichtlich ihrer Genauigkeiten gewertet werden. Hierzu sind die Ergebnisse mit den vorliegenden terrestrischen Aufnahmen zu vergleichen.

2 Untersuchungsgebiet und verwendete Daten

2.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Sächsischen Forstbezirk Marienberg. Es ist ein nördliches Testgebiet (mit den Versuchsanlagen Zöblitz und Heinzebank) und ein südliches Gebiet mit den Versuchsflächen Olbernhau aufgeteilt.

In der Regel handelt es sich dabei um zweischichtige Bestände, die aus einem das Kronendach bildenden Altbestand und dem darunter neu begründeten Jungbestand bestehen. Die wurden für die Betrachtung des Oberstandes durch eine Pufferzone von 30m erweitert.

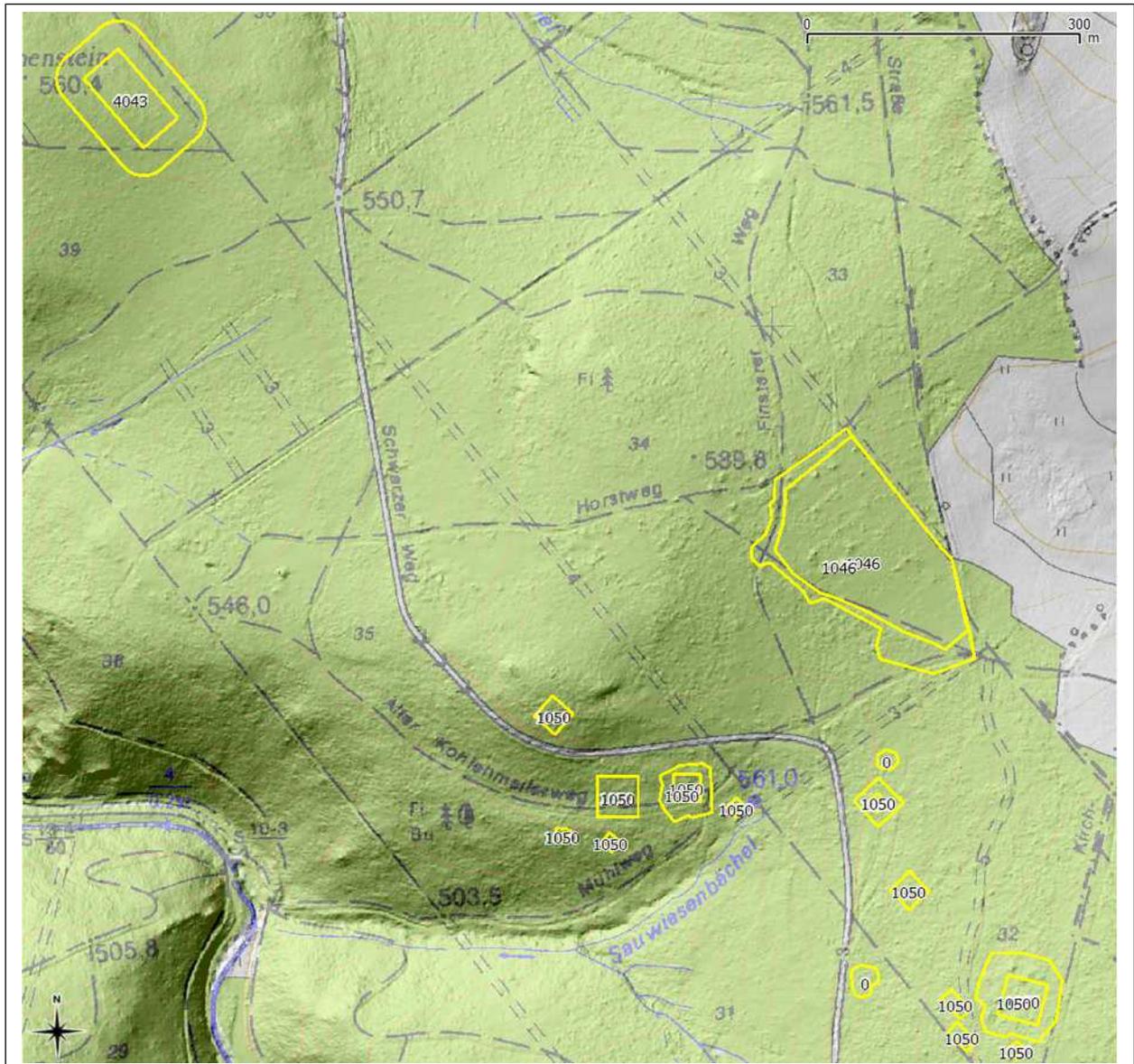


Abbildung 1: Testgebiet Nord mit Versuchsflächen, Versuchsnummern und Pufferzonen auf TK10 und geschummertem DTM.

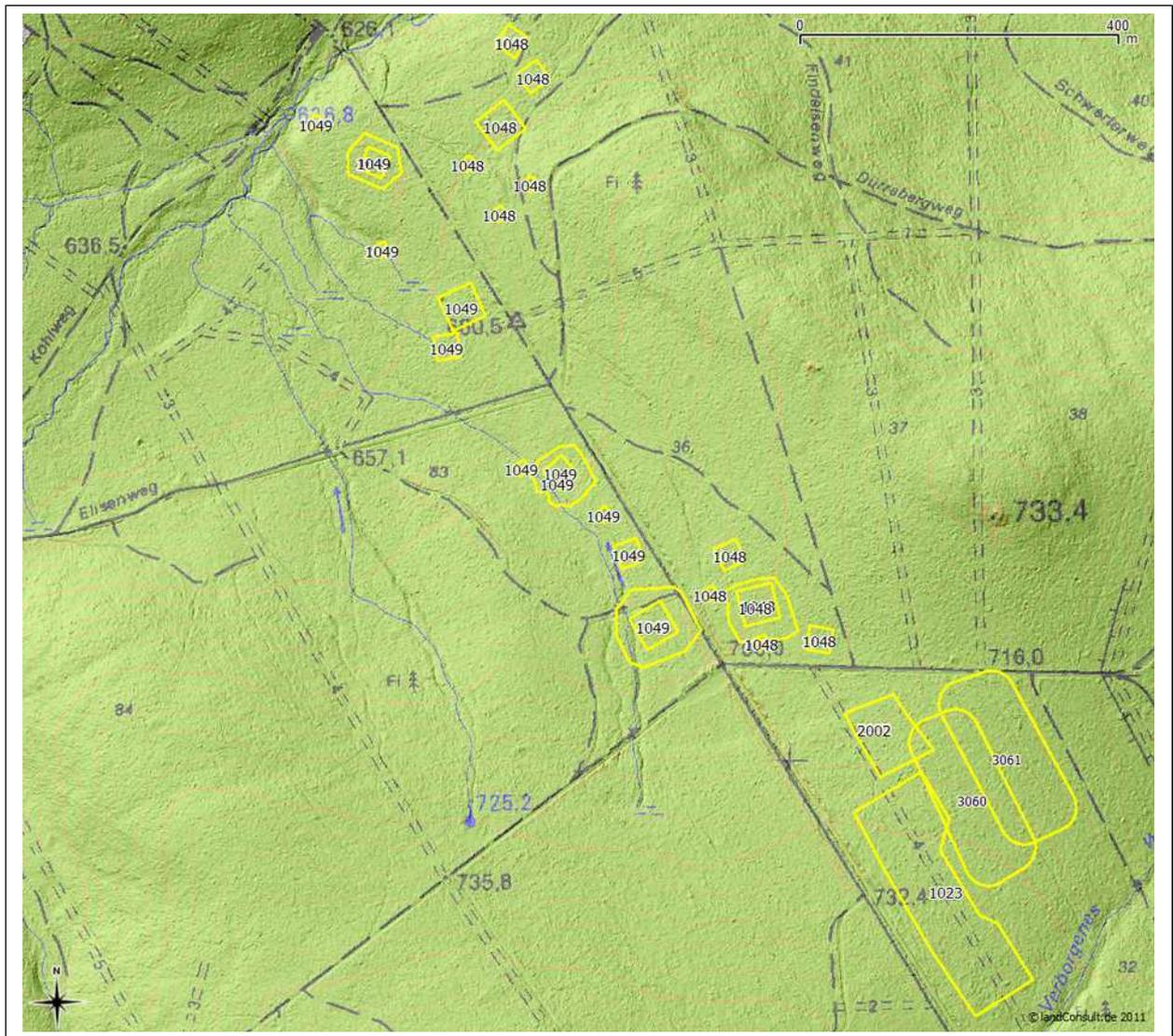


Abbildung 2: Testgebiet Süd mit Versuchsflächen, Versuchsnummern und Pufferzonen auf TK10 und geschummertem DTM.

2.2 Verwendete Daten

2.2.1 Shape Dateien und Excel Files

Hinweis: alle hier erwähnten Shape Dateien befinden sich im Ordner "Shape" der DVD.

Es lagen verschiedene Shape Dateien mit den Polygonen der Versuchsflächen und der Pufferflächen, sowie Punkt Shape Dateien mit den im Gelände zu unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten (Datumsangaben zwischen 1997 und 2009) vermessenen Baumparameter vor. Als erste Grundlage wurde die „BaumXYmH_ohneAUS.shp“ benutzt, da hier alle aktuell noch im Versuch befindlichen Bäume enthalten waren.

Die Datei „Versuche_Umriss.shp“ wurde genutzt, um die terrestrisch vermessenen Bäume den Versuchsflächen zuzuordnen und nach dem Zwischenschritt zur Vergabe von einmaligen (unique) Flächen IDs (siehe hierzu die Datei „versuche_neue_unique_ids.shp“) konnte an diese auch eine eindeutige Baum ID (BAUM_ADR) vergeben werden.

Die Attributtabelle der Datei „BaumXYmH_ohneAUS.shp“ beinhaltet i.d.R. veraltete Messwerte, die bis 1997 zurückreichen. Für einen sinnvollen Vergleich mit den Lasermesswerten aus 2009 wurden die terr. Messwerte in den mitgelieferten Excel Tabellen der Versuche 1023, 2002, 1046 und 4043 benutzt (siehe "vergleichbare_versuche_1023-2002_1046-4043_Jahr2008-2010.shp "). Eine Beschreibung dieser Tabellen, die Daten aus den Jahren 2005 bis 2010 enthalten ist der vom AG gelieferten Datei „documentation.doc“ (im Ordner "Vergleich") zu entnehmen.

2.2.2 LiDAR Daten

Das nördliche (Heinzebank und Zöblitz) und südliche Testgebiet (Olbernhau) wurden am 03.07.2009 mit einem RIEGL LMS-Q560 mit einer Punktdichte von mindestens 5 Punkten/m² von der Firma ILV Wagner aus Cottbus befliegen.

Am 04. und 05.07.2009 erfolgte die Aufnahme mit einer Punktdichte von mindestens 10 Punkten/m². Die direkte Georeferenzierung erfolgte mit einem DGPS/INS der Firma IGI.

Beide Flüge lieferten 4 Pulse Daten, die als first, last, second, und third und als Koordinatentriple (XYZ) im ASCII Format ausgegeben wurden.

Laserintensitätsdaten und die Information der Gesamtzahl der registrierten Pulse pro Strahl (z.B. 1 von 3), die für die weitere Verarbeitung hilfreich gewesen wären, wurden nicht erfasst.

Grundsätzlich standen insgesamt 4 Datensätze zur Verfügung, nämlich für den Nord- und Südteil jeweils ein „> 5 Punkt pro qm“ und ein „> 10 Punkt pro qm“ Datensatz (intern von uns gekennzeichnet durch „N5“, „N10“, „S5“ und „S10“).

Für beide Gebiete lieferte ILV Wagner auch die bereits klassifizierten Laserpunkte und die fertig gerechneten Oberflächenmodelle, sowie das normalisierte Oberflächenmodell (nDSM).

2.2.3 Luftbilder und Orthophotos

Zeitgleich mit der Laserscanner-Messaufnahme erfolgte am 03.07.2009 ein Bildflug mit der digitalen Kamera DMC. Die technische Spezifikation ist im Befliegungsprotokoll der Firma ILV (Datei BF20090703_Befliegungsprotokoll.pdf) wie folgt beschrieben:

Bildflug am: 03.07.2009

Bodenauflösung: ca. 10 cm

Bildmaßstab: ca. 1 : 8000

Längsüberdeckung: ca. 70%

Querüberdeckung: ca. 40%

Kamera: DMC Nr. 122

Brennweite: 120 mm

Aufhängung: TAS

Kalibrierung: 2008

Luftfahrzeug: Cessna 207

Bildfolgezeit: 3 bis 5 Sekunden

Belichtung: automatisch,

Filter: entfällt

Wetter: Sicht >30km, Bewölkung 0/8, sehr windig

Navigation: CCNS4, AeroControl

Bildflug: IIV-Fernerkundung GmbH

Labor: PPS-Software von Z/I

Koordinaten: Gauss-Krüger (RD83), Bessel SPH, 4. Streifen

Anzahl der Bilder: 105

Anzahl der Streifen: 7

Objektzeit: 45 Minuten

Anzahl der Satelliten: 5-9

Die Aufnahmen wurden mit DGPS/INS-System direkt georeferenziert und anschließend unter Verwendung von Passpunkten aereotrianguliert (Genauigkeit < 10 cm in Lage und Höhe). Die Berechnung von Digitalen Orthobilddaten mit einer Bodenauflösung von 10 cm erfolgte mit diesen Orientierungsdaten und dem Geländemodell aus dem Laserscanning.

Zwangsläufig kam es bei dieser Orthophotobildberechnung zu den bekannten Problemen der korrekten Darstellung von Baumkrone und Stamm. Beide wurden durch die Referenzierung auf die Geländehöhe mehrere Meter von ihrer wirklichen Lage versetzt abgebildet. Somit war auch eine Überlagerung mit den Laserdaten zunächst nicht, bzw. in einem engen NADIR Bereich der Aufnahmen nur eingeschränkt möglich. Die Genauigkeitsanforderungen, die an eine digitale Einzelbaumvermessung gestellt werden konnten durch die Kombination beider Datensätze nicht erfüllt werden, weshalb wir uns für die weitere Entwicklung ganz auf die Prozessierung der Laserdaten konzentrierte haben.

Ein weiteres einschränkendes Merkmal der Orthophotos ist das bereitgestellte Format der Infrarotbilder, die als RGB Komposit abgespeichert wurden. Die eigentliche Information des Nahen Infrarots wurde dadurch in drei Kanäle umgerechnet, was zu einem Verlust der Ursprungsdaten führte (geeignet wäre ein Bildformat mit 4 Kanälen, Rot-Grün-Blau-Infrarot). Versuche, aus dem Bildkomposit den originalen Infrarotkanal wieder herauszurechnen waren nur teilweise erfolgreich (siehe Datei "cir_analyse.docx" im Ordner "Anlage") und genügten nicht den Genauigkeitsanforderungen für das weiter Vorgehen.

Die Orthophotos wurden daher „nur“ als visuelle Hilfe zur Überprüfung der Ergebnisse und der Zuordnung der terrestrischen Bäume zu den Laserbäumen benutzt. Zu diesem Zweck wurden zudem kleinere Ausschnitte aus den original Luftbildern manuell verschoben, um sie an die Lasermessungen, bzw. die terrestrisch gemessenen Baumkoordinaten anzupassen.

Im folgenden Kapitel ist darüber hinaus ein alternatives Vorgehen zur Berechnung eines Orthophotos dargestellt, dass die Baumhöhen berücksichtigt (True Orthophoto) und dabei Bildparameter erzeugt, die eine Prozessierung der originalen Luftbilder und eine anschließende orthorektifizierung der Ergebnisse ermöglichen.

3 Ergebnisse

Hinweis:

Alle erstellten LiDAR Modelle sind im GeoTIFF Format im Ordner „3DModelle“ abgelegt.

Alle erstellten Shape Dateien sind im Ordner „Shape“ abgelegt

Alle Vergleichsanalysen zwischen Feldmessungen und LiDAR Berechnungen sind im Ordner „Vergleich“ abgelegt.

3.1 Vorausgehende Prozessierung der Daten

3.1.1 Polygone und Punkte der terrestrischen Messungen

Die gelieferten Shape Dateien der Versuchsflächen (Datei „versuche_umgriff.shp“) hatten keine eindeutigen ID Nummern für die einzelnen Polygone. Für die weitere Prozessierung war es notwendig eine einmalige ID zu vergeben.

Daher wurde für die weitere Bearbeitung eine eigene Nummerierung durchgeführt. Von Norden nach Süden wurden die Versuchsflächen von 1 bis 39 durchnummeriert, Pufferflächen wurden durch einen Unterstrich, z.b. 2_1 und 2_2 von der Kernfläche der gleichen Versuchsfläche getrennt. Diese für die GIS Bearbeitung nötige Nummerierung wurde nach vorliegen der Ergebnisse durch die von Sachsenforst verwendeten Versuchsnummern ersetzt (siehe auch Datei „versuche_neue_unique_ids.shp“).

Diese interne ID wurde später für die Ergebnispräsentation wieder in die Versuchsnummer umgewandelt, sie kann aber in einzelnen Dateien und Tabellen noch enthalten sein.

Folgende Tabelle zeigt die entsprechende Zuordnung (Originaltabelle / vergleich / versuchnr_und_neue_unique_ids.xls):

Nutzung von Methoden der Fernerkundung auf ertragskundlichen Versuchsflächen

Lfd Nr	Prozess interne einmalige ID	Versuch-Nr	OBJECTID aus original Shape Datei	Versuch	Projekt	BEADR
1	1	4043	66	Fichte Zöblitz 39	Pflegeversuche	151123 D 39a 31
2	2_1	1046	61	Zöblitz 34	Umbau Fichte	151123 D 34a 11
3	2_2	1046	61	Zöblitz 34	Umbau Fichte	151123 D 34a 11
4	3	1050	332	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	ohne Angaben
5	4	0	0	ohne Angaben	ohne Angaben	ohne Angaben
6	5_1	1050	297	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	ohne Angaben
7	5_2	1050	297	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	ohne Angaben
8	6	1050	298	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	ohne Angaben
9	7_1	1050	107	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	151123 D 32a 21
10	7_2	1050	107	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	151123 D 32a 21
11	8	1050	107	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	151123 D 32a 21
12	9	1050	107	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	151123 D 32a 21
13	10	1050	107	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	151123 D 32a 21
14	11	1050	301	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	ohne Angaben
15	12	0	0	ohne Angaben	ohne Angaben	ohne Angaben
16	13_1	1050	303	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	ohne Angaben
17	13_2	1050	303	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	ohne Angaben
18	14	1050	300	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	ohne Angaben
19	15	1050	300	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	ohne Angaben
20	16	1050	302	Lücke Zöblitz	Lückendynamik	ohne Angaben
21	17	1048	108	Lücke Olbernhau	Lückendynamik	151140 B 42a 21
22	18	1048	108	Lücke Olbernhau	Lückendynamik	151140 B 42a 21
23	19	1049	109	Lücke Ansprung	Lückendynamik	151140 A 83b 11
24	20	1048	108	Lücke Olbernhau	Lückendynamik	151140 B 42a 21
25	21_1	1049	109	Lücke Ansprung	Lückendynamik	151140 A 83b 11
26	21_2	1049	109	Lücke Ansprung	Lückendynamik	151140 A 83b 11
27	22	1048	108	Lücke Olbernhau	Lückendynamik	151140 B 42a 21
28	23	1048	108	Lücke Olbernhau	Lückendynamik	151140 B 42a 21
29	24	1048	333	Lücke Olbernhau	Lückendynamik	ohne Angaben
30	25	1049	109	Lücke Ansprung	Lückendynamik	151140 A 83b 11
31	26	1049	109	Lücke Ansprung	Lückendynamik	151140 A 83b 11
32	27	1049	109	Lücke Ansprung	Lückendynamik	151140 A 83b 11
33	28_1	1049	109	Lücke Ansprung	Lückendynamik	151140 A 83b 11
34	28_2	1049	109	Lücke Ansprung	Lückendynamik	151140 A 83b 11
35	29	1049	109	Lücke Ansprung	Lückendynamik	151140 A 83b 11
36	30	1049	109	Lücke Ansprung	Lückendynamik	151140 A 83b 11
37	31	1049	109	Lücke Ansprung	Lückendynamik	151140 A 83b 11
38	32	1048	108	Lücke Olbernhau	Lückendynamik	151140 B 42a 21
39	33_1	1049	109	Lücke Ansprung	Lückendynamik	151140 A 83b 11
40	33_2	1049	109	Lücke Ansprung	Lückendynamik	151140 A 83b 11
41	34	1048	108	Lücke Olbernhau	Lückendynamik	151140 B 42a 21
42	35_1	1048	108	Lücke Olbernhau	Lückendynamik	151140 B 42a 21
43	35_2	1048	108	Lücke Olbernhau	Lückendynamik	151140 B 42a 21
44	36	1048	108	Lücke Olbernhau	Lückendynamik	151140 B 42a 21
45	37	1048	108	Lücke Olbernhau	Lückendynamik	151140 B 42a 21
46	38	2002	208	DBF Olbernhau	DBF	151140 B 32a 61
47	39	1023	89	Olbernhau 32	Umbau Fichte mBA	151140 B 32a 71

Tabelle 1: Umrechnung der Versuchsnummern in eine einmalige ID.

Die laufenden Nummern 5 und 15 hatten keine Versuch Nr. (u.U. Gehören diese Flächen zu Versuch 1050) und erhielten daher die Versuch Nummer „0“.

Die neue ID ermöglichten durch den Zusatz _1 (Kernzone) bzw. _2 (Umgriff), dass die Pufferzone, die um eine Versuchsfläche gelegt war durch eine eigene ID gekennzeichnet wurde, wie dies z.B auf der Fläche Zöblitz (Umbau) mit der neuen ID 2_1 und 2_2 gemacht wurde (vorher waren Pufferfläche und Kernzone mit der gleichen ID 1046 bezeichnet).

Die in der Tabelle gelb unterlegten Flächen wurden für den direkten Baumvergleich ausgewertet (siehe "vergleichbare_versuche_1023-2002_1046-4043_Jahr2008-2010.shp") .

Durch das Zusammenfügen einzelner Versuchsflächenauswertungen zu der vorliegenden Datei BaumXYmH_ohne_AUS.shp (bzw. BaumXYmH.shp), kam es teilweise zu einer Vervielfachung der vergebenen Baumnummern, die ursprünglich für jede Versuchsflächen getrennt von 1-x vergeben wurden. Um eine einmalige Baum ID zu erzeugen, wurden die mitgeführten Versuchsflächennummern den Baumnummern vorangestellt, also für Baum Nr 6 auf der Versuchsfläche 1023 wurde die Baum ID 1023_06 vergeben.

In der Datei „BaumXHmH_ohne_AUS.shp“ kommen stellenweise Duplikate der Einzelbäume vor, z.B. im Bereich der Versuchsfläche 1046 Zöblitz, Umbau Heizbank,. Baum mit RW 4587134.8617 und HW 5616758.4103), die vermutlich durch das vorangegangene „merging“ verschiedener Shapefiles entstanden sind.

Nachdem die Duplikate aus der Shapedatei gelöscht wurden, konnte die Datei „BaumXHmH_ohne_AUS.shp“ für eine Anpassung an die aus dem LiDAR Modell vermessenen Bäume genutzt werden.

Die Übereinstimmung der im Gelände kartierten Einzelbäume mit den automatisch erkannten „Laserbäumen“ ist die Bedingung für einen aussagekräftigen Vergleich beider Messungen.

Allerdings war die Abweichung der im Feld vermessenen Bäumen von den aus dem LasermodeLL detektierten Bäumen oft erheblich und v.a. sehr unterschiedlich, weshalb ein automatisches „shifting“ zu keinem Ergebnis führte. Erst durch eine händische Verschiebung der terrestrisch gemessenen Bäume über die im Laserbild erkannten Bäume konnte ein brauchbares Ergebnis erzielt werden. Jedoch war in einigen Fällen auch durch erfahrene Photointerpreten eine eindeutige Zuordnung nicht zweifelsfrei möglich, was bei der Interpretation der Ergebnisse als mögliche Fehlerursache berücksichtigt werden muss.

Die folgende Abbildung veranschaulicht das Problem:

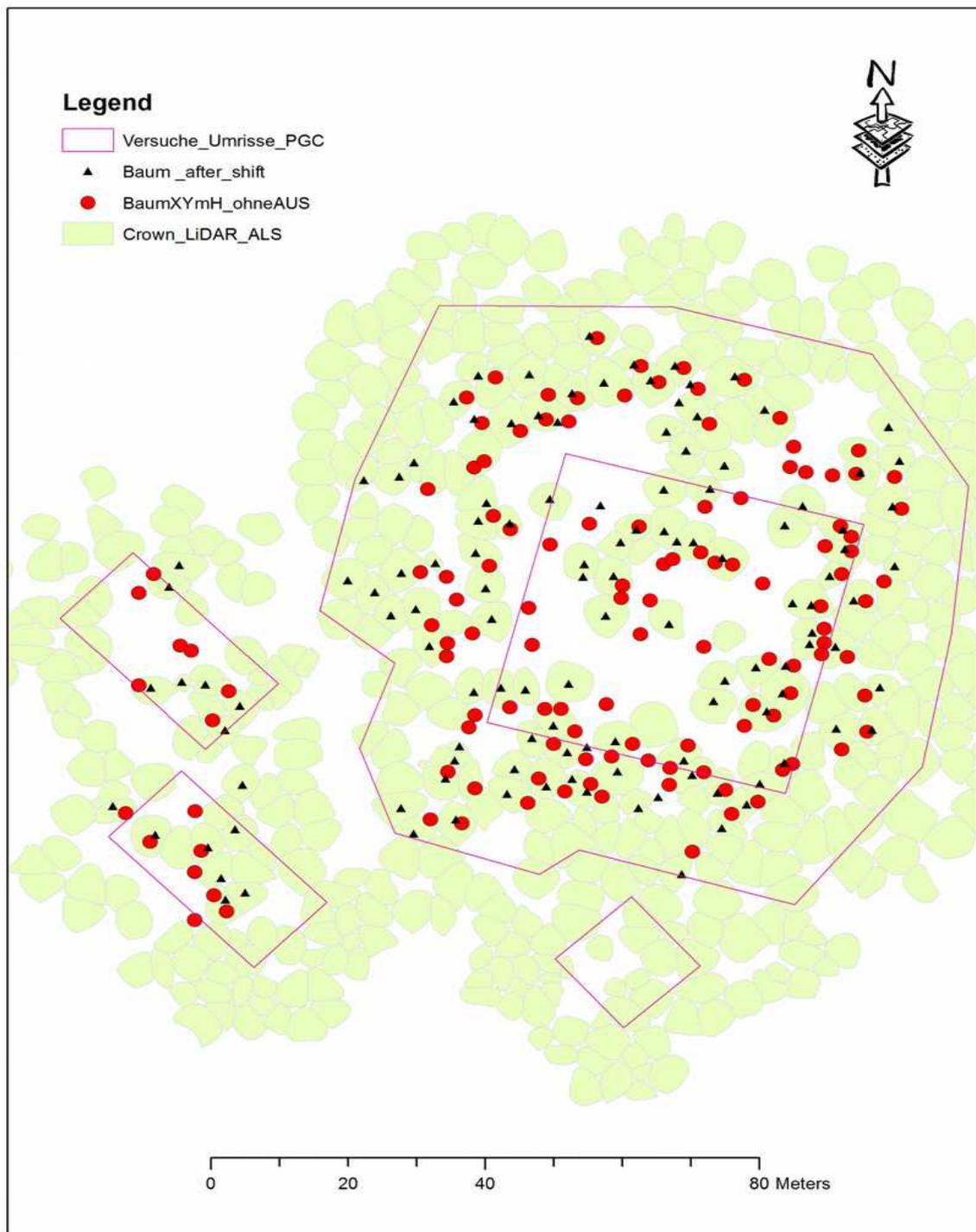


Abbildung 3: Problem der Zuordnung von terrestrisch eingemessenen Bäumen und aus den Laser Daten erkannten Einzelbäumen.

Zur Abschätzung der erzielten Genauigkeit kann die im Ordner „Shape/shifted_trees“ liegende Shape Datei „BaumXYmH_plots_N_S_Merge_all.shp“ zusammen mit der Datei "Shape/BaumXHmH_ohne_AUS.shp“ im GIS angezeigt werden. Für eine grobe Abschätzung haben wir eine statistische Auswertung über die Höhenabweichung der einander zugeordneten Bäume für jede Versuchsfläche gerechnet (siehe PDF in Anlage und Datei „statistik_zur_zuordnung_von_terrestr_und_lidar_baeumen.xls“).

Versuchsflächen, in denen die mittlere Höhe der Bäume um mehr als 2 bis drei Meter abweichen müssen kritisch betrachtet werden. Wegen der Verwendung der Shape Datei „BaumXHmH_ohne_AUS.shp“ muss allerdings berücksichtigt werden, dass der Zeitpunkt der Geländeaufnahmen und damit auch der Höhenmessungen für einige Flächen über 10 Jahre vor den Laseraufnahmen liegt, was natürlich auch eine entsprechende Höhenabweichung zur Folge hat, die sich nicht nur mit dem Versatz der Einzelbäume erklären lässt.

Für einen aussagekräftigen Vergleich kamen unter Berücksichtigung des Aufnahmezeitpunktes und einer korrigierbaren Verschiebung der Einzelbäume daher letztlich nur 4 Flächen in Betracht. Dies sind die Versuchsflächen 1023 und 2002 (Dauerbeobachtungsfläche) in Olbernhau und die Flächen 4043 (Struktur DF) und 1046 (Umbau Heinzebank) in Zöblitz. All diese Flächen wurden zwischen den Jahren 2008 und 2010 terrestrisch vermessen und gewissen Einschränkungen auf der Fläche 4043, war auch die Zuordnung der terrestrisch vermessenen Einzelbäume zu den LiDAR Bäumen zuverlässiger als auf anderen Flächen.

3.1.2 LiDAR Daten

Wie bereits im vorigen Kapitel dargestellt, wurden von ILV vorgefertigte Höhenmodelle (nDSM, DSM und DTM) geliefert, auf deren Basis eine Vermessung der Einzelbaumkronen machbar wäre. Allerdings haben wir mit dem Ziel, eine vollständige und nachvollziehbare Prozesskette aufzubauen auf diese Produkte verzichtet und stattdessen anhand der unklassifizierten Punktwolken eigene Modelle gerechnet, wobei v.a. die kommerzielle Software TerraSolid und die freie Software FUSION (im Ordner "Fusion" abgelegt) benutzt wurde. Dieser Schritt war in der Ausschreibung nicht zwingend vorgesehen, da man auch die von ILV Wagner gelieferten Modellen verarbeiten hätte können. Die Benutzung einer beim Auftraggeber nicht vorhandenen Software (TerraSolid) stellt daher auch nicht die geplante Durchführbarkeit des vorgestellten Verfahrens in Eigenregie durch Sachsenforst in Frage.

Ein Vergleich der beiden Geländemodelle hat am Ende auch nur marginale Unterschiede gezeigt. Jedoch hat sich bei der eingehenden Beschäftigung mit den unprozessierten Daten gezeigt, dass die Qualität der Rohdaten durchaus „verbesserungswürdig“ ist:

Wie in der Projektbesprechung am 04. Nov. in Graupa bereits gezeigt, waren die Laserpunkt Datensätze von sehr heterogener Qualität, die örtlich von Datenlücken, einer Daten Verdopplung und Punktverschiebung charakterisiert war. Auch die, im Dateinamen zum Ausdruck gebrachten Punktdichten konnten durch statistische Prüfverfahren nicht nachvollzogen werden. (möglicherweise wurden hier auch die Dateinamen vertauscht).

Letztlich hat sich gezeigt, dass das nördliche Teil des Gebietes besser durch das N5 Modell („> 5 Punkt pro qm“) repräsentiert wurde und für den südlichen Teil lieferte der S10-Datensatz („>

10 Punkt pro qm“) die besseren Ergebnisse. Auf eine weitere Verwendung der weniger geeigneten Datensätze N10 und S5 wurde im folgenden verzichtet.

Die beiden folgenden Abbildungen sind nur exemplarisch hier aufgeführt, weitere Details können der Präsentation vom 4. Nov. 2011 entnommen werden (siehe Datei im Ordner Anlage: „presentation4Nov2011.pdf“ und „presentation4Nov2011.ppt“).

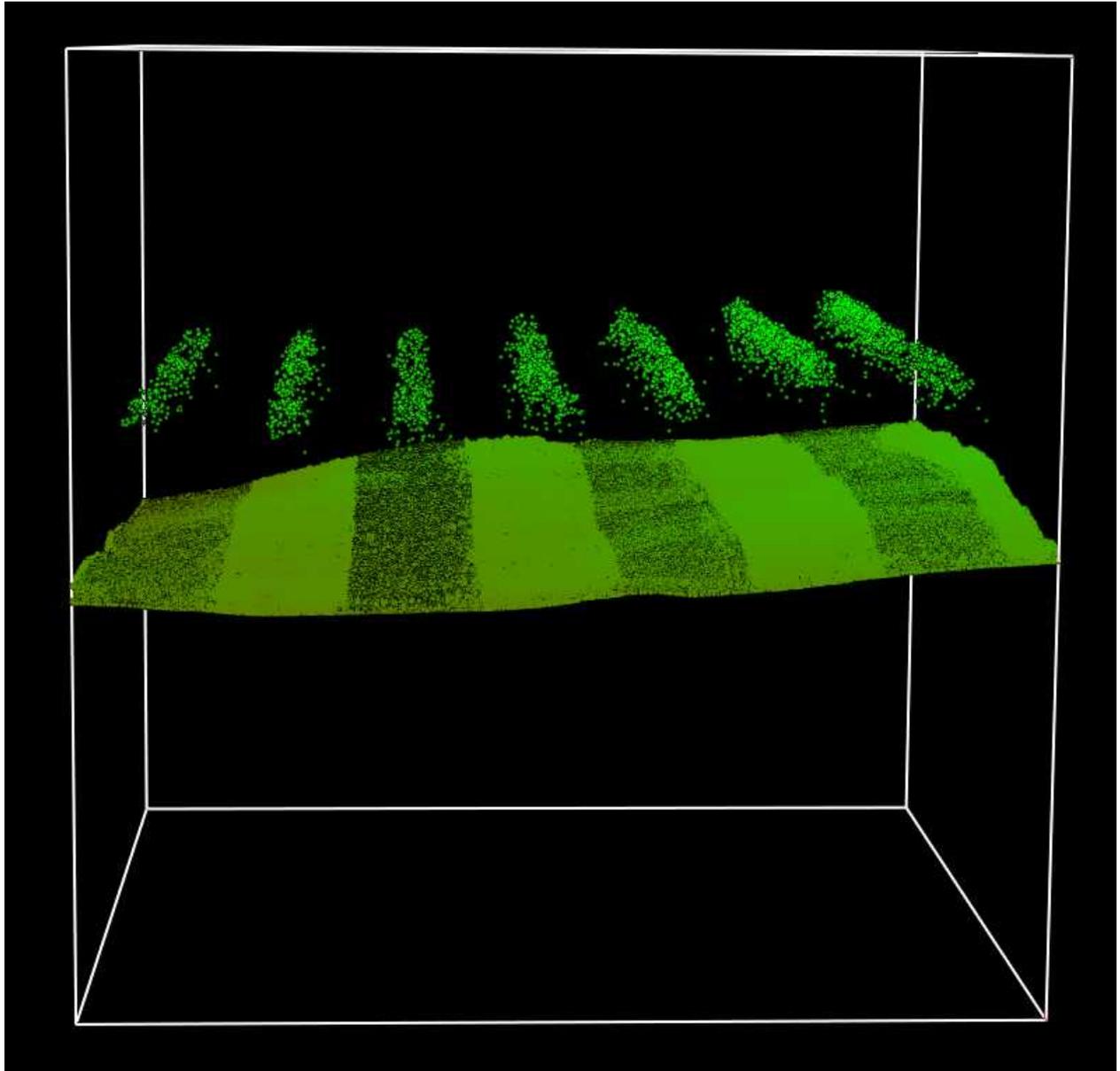


Abbildung 4: Systematische "Ausreiser" der Punktwolke, d.h. Punkte, die gehäuft in Flugrichtung ca. 300 m über Grund liegen

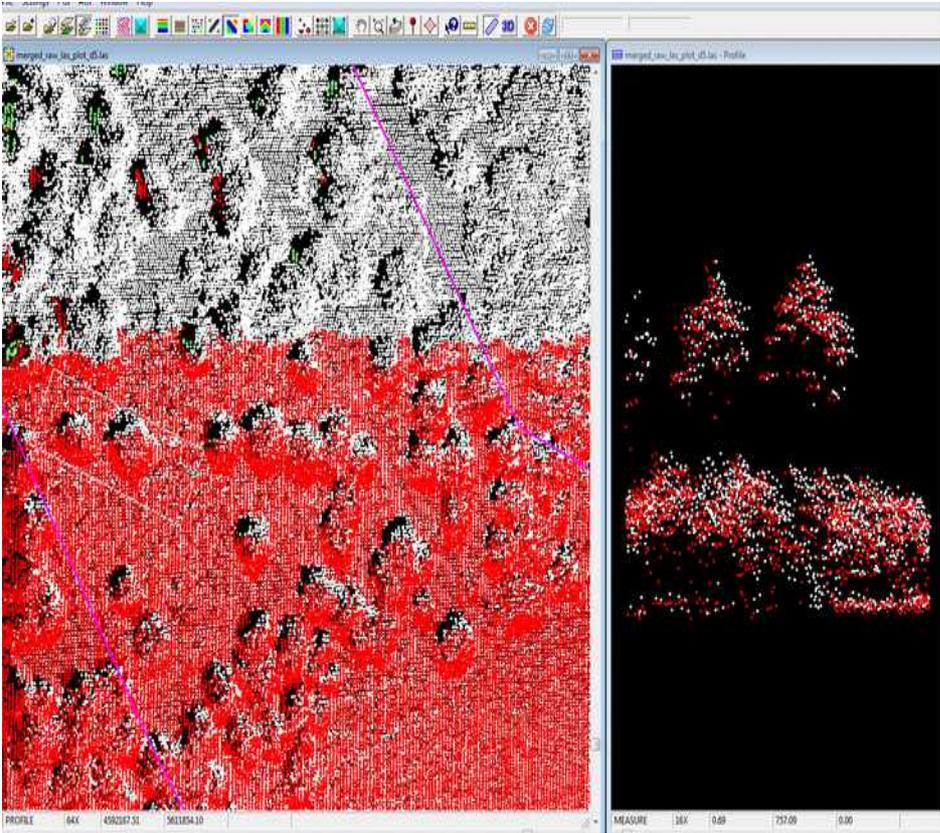
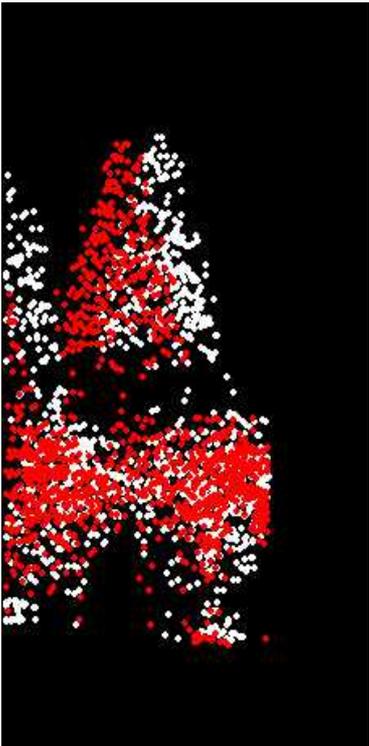


Abbildung 5: Abbildung 2: Punktwolke aus Datensatz S5 (ost-west und nord-sued Flug auf 500 m Hoehe – cross-over) mit Versatz der Punktwolken

3.1.3 Stereometrisches Oberflächenmodell

Die perspektivische Verzerrung von Bäumen deren Höhe bei der Orthobildberechnung unberücksichtigt bleibt, kann durch die Verwendung der Höhen der Vegetation zur Berechnung eines TrueOrthophotos verringert werden. Dies ist aber bei Daten, die aus unterschiedlichen System stammen (Kamerasystem und Laserscanner) nicht einfach zu bewerkstelligen. Zur Darstellung einer technischen machbaren Methode wurde für einen kleinen Ausschnitt des Testgebietes (Versuch 2002 DBF und 1023 in Olbernhau) aus einem Luftbildpaar (Flugstreifen 2, Bild 5 und 6) ein Stereomodell gerechnet. Die dabei erzeugten Höhen und Modellparameter können u.a. dazu verwendet werden, um die auf dem original 4 Kanalluftbild (RGBI) gerechneten Ergebnisse in die übliche GK4 Projektion umzurechnen, oder um damit ein TrueOrthophoto zu rechnen (verwendete Software: RSG 7.1 des Joanneum Research Graz).

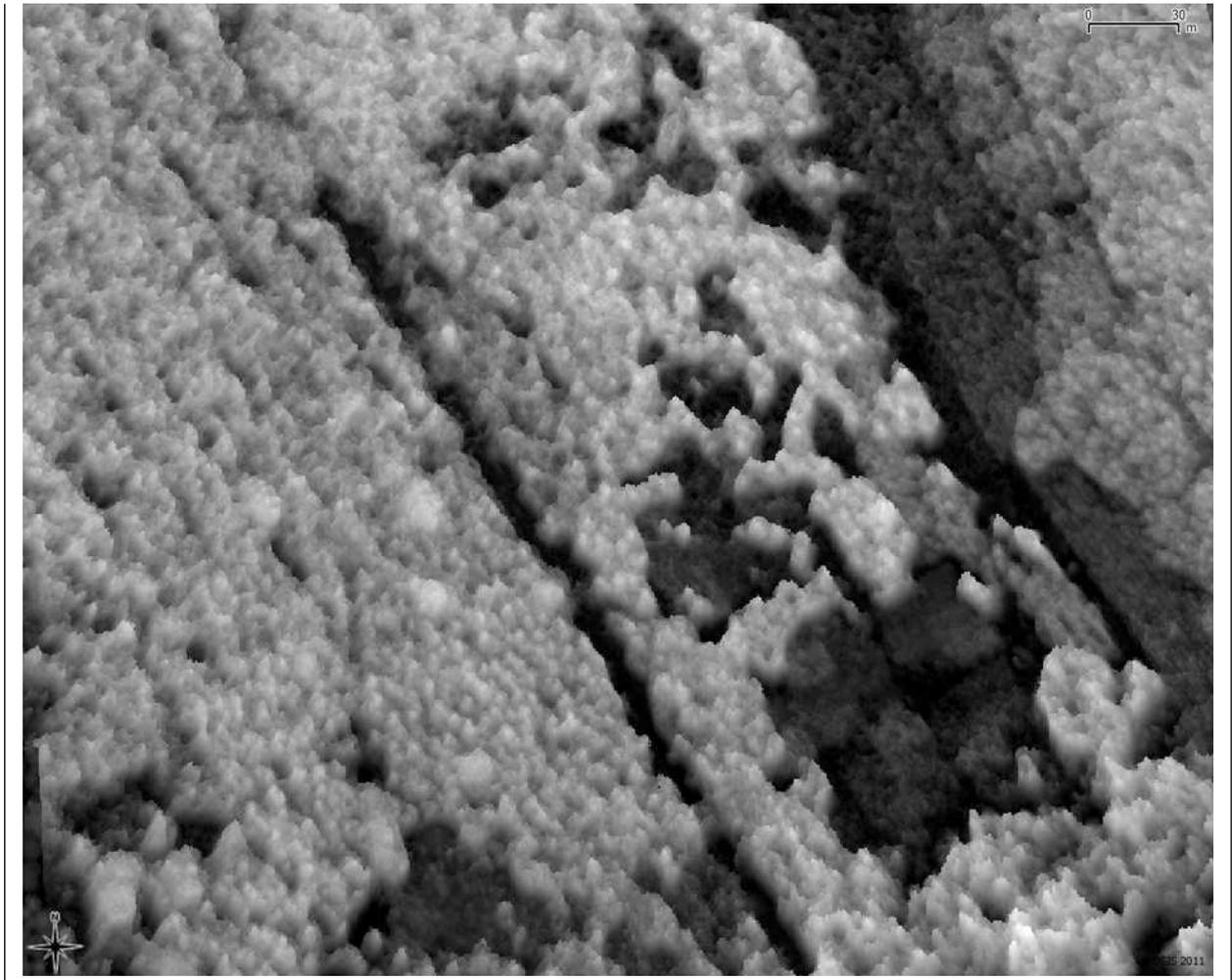


Abbildung 6: Stereometrisches Höhenmodell Olbernhau (Versuch 2002 und 1023) gerechnet aus original RGBI 16bit Luftbildpaar (Nr Bild 05 und 06 des Flugstreifen 2).

Auf Grundlage des Stereo-Höhenmodells kann ein TrueOrthophoto erstellt werden und wie die folgenden Abbildungen zeigen, werden die Kronen des Luftbildes dabei an ihre korrekte geographische Lage „entzerrt“ und können so mit den aus dem Lasermodell delinierten Kronen überlagert werden. An den Randbereichen des Bildes nehmen die zur Korrektur der Kronen nötigen Pixelverschiebungen zwangsläufig zu, was zu stärkeren Verzerrungen in diesen Bildbereichen und zu einem Verschmieren der spektralen Bildinformation führt.

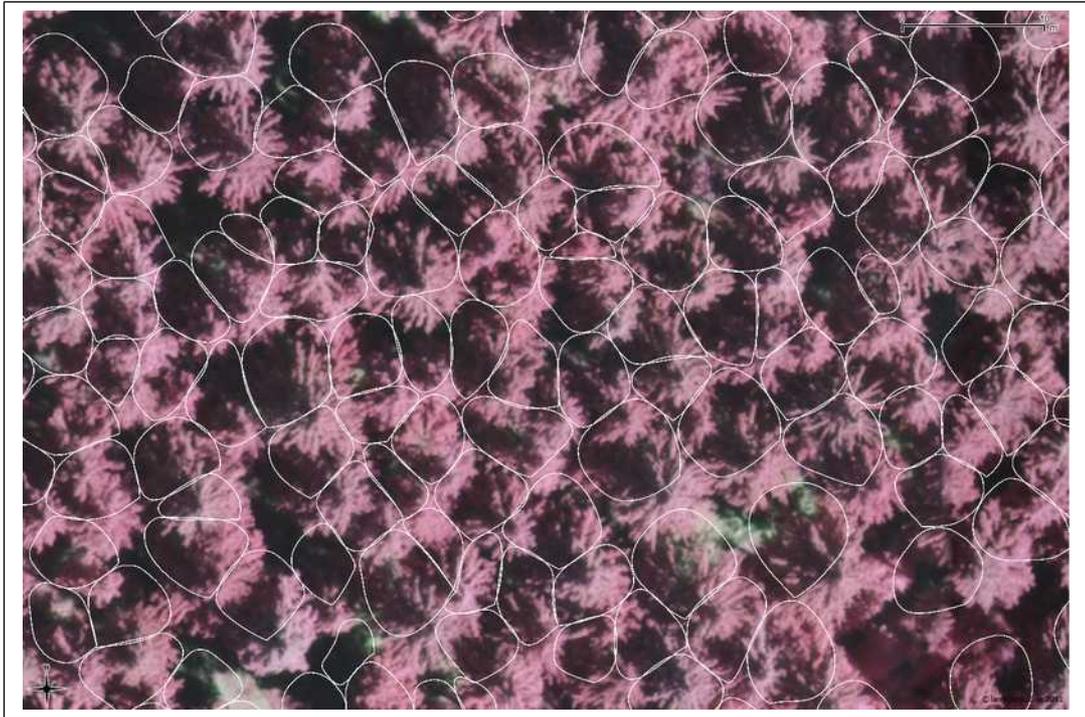


Abbildung 7: Abb.: Aus den LiDAR Daten delinierte Kronen (weiße Polygone) überlagert mit dem bereitgestellten Orthophoto, das auf Grundlage der Geländehöhe gerechnet wurde. Deutlich sieht man die Verschiebung der bis zu 30 Meter über dem Gelände liegenden Baumkronen gegenüber der korrekten Lage der Laserkronen.



Abbildung 8: Abb. Darstellung des True Orthophotos, das auf Grundlage des stereometrisch erzeugten Oberflächenmodells berechnet wurde. Die Lage der Baumkronen stimmt mit den weißen Polygonen Kronensegmenten aus den Laserdaten überein.

Als Fazit kann festgestellt werden, dass das Potential der Steromodellberechnung dann zum tragen kommt, wenn aktuelle Laserdaten fehlen oder wenn spektrale Informationen aus dem original Luftbild in orthorektifizierter Form in die Lasermodellierung miteingebracht werden sollen. Das Höhenmodell selbst ist allenfalls zur Bestimmung der Baumlage und -höhe geeignet, nicht jedoch zur Delinierung von Kronensegmenten.

3.2 3D-Modelle und Kronensegmentierung

Hinweis: alle erstellten Modelle sind im GeoTIFF Format im Ordner "3DModelle" abgelegt.

Auf Grundlage der vorprozessierten Laserdaten (siehe vorhergehendes Kapitel) wurde mit der Software FUSION ein normalisiertes Höhenmodell (Kronenmodell oder nDSM) gerechnet und mit einem Medianfilter (3x3 pixel moving window) geglättet. Für den Nordteil wurden die Daten des Modells N5 benutzt, für den Süden der Datensatz S10. Diese nDSM sind mit den anderen gerechneten Rasterdatensätzen im Ordner „3DModelle“ unter den Namen „nord/ndsm_N5_0.25_median3.tif“ (25 cm Auflösung), bzw. "ndsm_N5_0.5_median3.tif" (50 cm Auflösung) für den Nordteil und „sued/ndsm_S10_0.25_median3.tif“ bzw. "ndsm_S10_0.5_median3.tif" abgespeichert.

Für diese Kronenmodelle (nDSM) wurde in e.cognition 8.7 ein Algorithmus zur Delinierung der Einzelkronen entwickelt. Das sogenannte Regelwerk mit dem Dateinamen „ruleset_find_and_delineate_trees.dcp“ befindet sich im Verzeichnis „Ruleset“ und kann in der e.cognition Version 8.7 zur Segmentierung von Einzelbaumkronen auf Grundlage eines nDSM eingesetzt werden. Im gleichen Verzeichnis befindet sich auch eine kurze Beschreibung zum Einsatz und zur Funktionsweise des Regelwerkes.

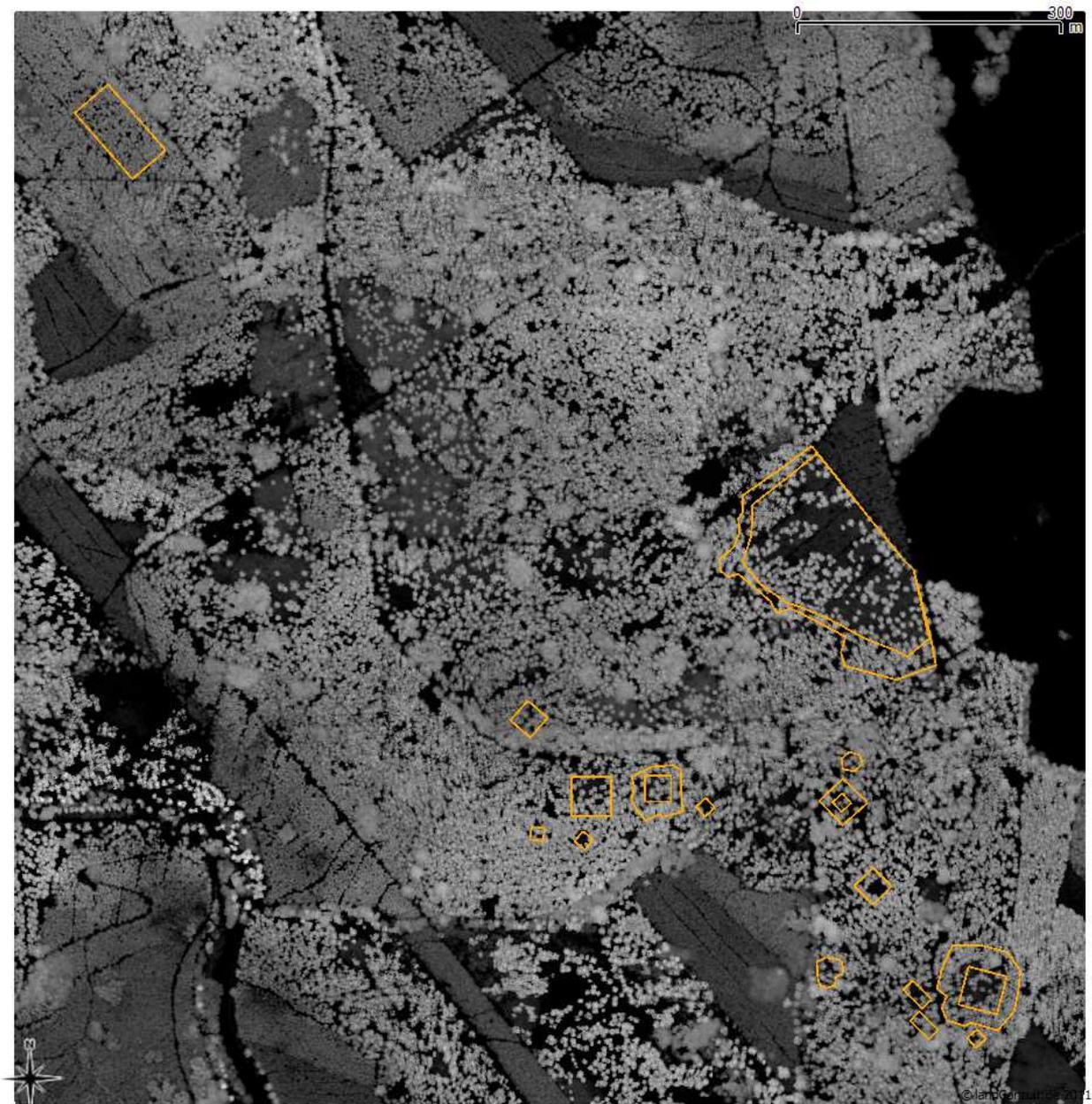


Abbildung 9: Kronenmodell aus N5 Datensatz (Nordteil) mit den Polygonen der Versuchsflächen

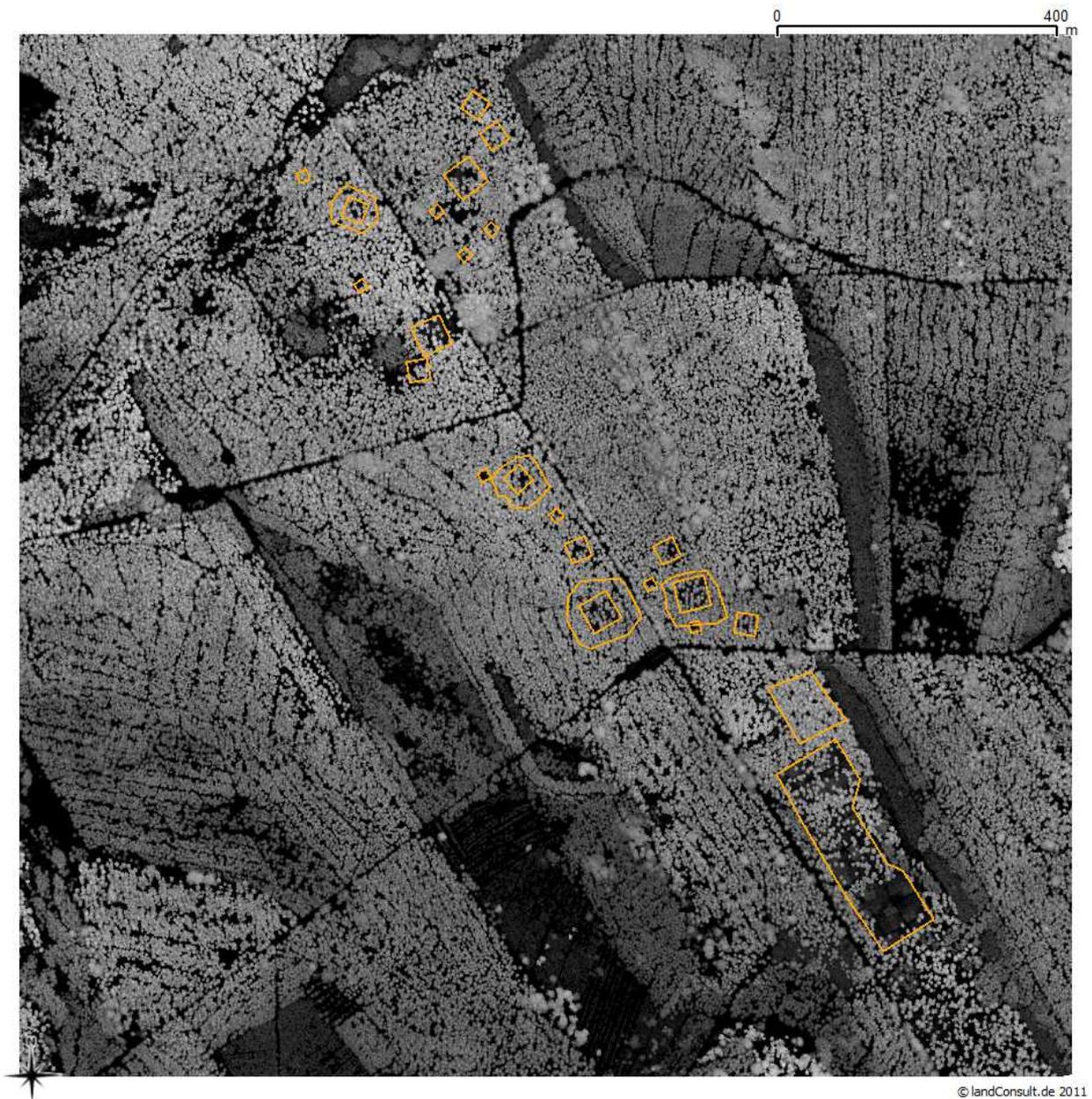


Abbildung 10: Kronenmodell aus dem S10 Datensatz für den Südteil mit Polygonen der Versuchsflächen

Insgesamt wurden 7666 Kronen segmentiert. Bezogen auf die durch Photointerpretation auf der gleichen Fläche manuell am Bildschirm digitalisierten Baumspitzen (abgelegt in der Punktshape Datei „einzelbaeume_visuell_erkantet.shp“) ergab sich eine Erkennungsrate von rund 92%.

Die Kronensegmente wurden mit den Baumnummern der in die „Laserkronen“ verschobenen terrestrischen Bäume beschriftet (siehe Shape: „kronensegmente_aus_OBIA.shp“). Kronensegmente, denen kein terrestrisch vermessener Baum zugeordnet werden konnte, wurden mit der Nummer 0 beschriftet. Den Kronennummern vorangestellt wurde, wie auch schon für die im Feld gemessenen Bäume geschehen, die Versuchsnummer. Kronen, die außerhalb der Versuchsflächen liegen sind mit „0_0“ gekennzeichnet. Durch dieses System konnten einmalige Baumadressen für die Bäume vergeben werden, die für die Verknüpfung mit den Baumtabellen der Waldaufnahme genützt werden sollen.

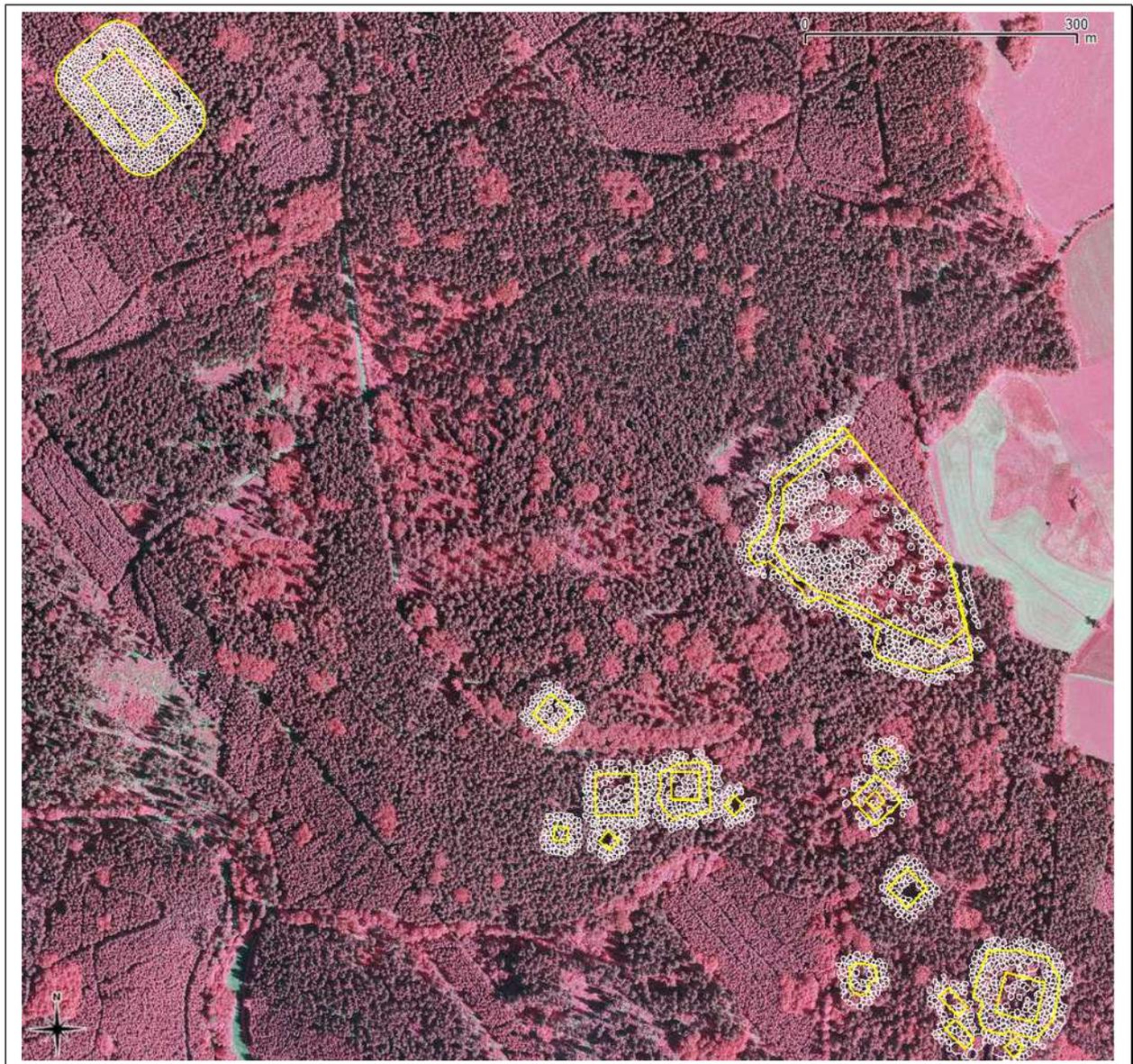


Abbildung 11: Segmentierte Kronen im Nordteil des Gebietes (Zöblitz) vor dem Hintergrund des Orthophotos (Shape Datei: „kronensegmente_aus_OBIA.shp“).



Abbildung 12: Segmentierte Kronen im Südteil (Olbernhau) des Gebietes vor dem Hintergrund des Orthophotos (Shape Datei: „kronensegmente_aus_OBIA.shp“).

Die mit Methoden der Objekt basierten Bildanalyse (OBIA) in e.cognition segmentierten Baumkronen sind in der Datei „kronensegmente_aus_OBIA.shp“ abgelegt. Die Polygonform der Kronen in dieser Datei folgt der Rasterstruktur des Kronenmodell-Rasters, das der Bildanalyse zugrunde lag. Für diese originäre Form der Kronen wurde in der dazugehörigen Attributtabelle auch die Kronenfläche berechnet, sie entspricht jedoch nicht der Kronenschirmfläche, die direkt aus den Laserpunkten berechnet wurde (hierzu später mehr).

	OBJECTID	BAUM_ADR /	BAUM_RW	BAUM_HW	SegmFlaech	VERSUCH_NR	Scene_Name
7345	3990	2002_8	4592119.16	5612075.76	36.5	2002	ID_38
7346	3994	2002_9	4592112.79	5612073.66	27	2002	ID_38
7347	4091	2002_98	4592096.57	5612040.08	30.88	2002	ID_38
7348	4094	2002_99	4592092.03	5612038.73	22.75	2002	ID_38
7349	837	4043_0	4586275.42	5617297.18	7.13	4043	ID_1
7350	843	4043_0	4586292.75	5617295.81	18.86	4043	ID_1
7351	844	4043_0	4586273.22	5617294.74	18.63	4043	ID_1

Abbildung 14: Attributtabelle der Datei "kronensegmente_aus_OBIA.shp"

Dabei sind:

OBJECTID, einmalige ID von 1 bis 7666

BAUM_ADR, Baum- ID aus Versuchsnummer und Baumnummer, sie ist für alle im Feld nummerierten Bäume einzigartig.

BAUM_RW, BAUM_HW: Rechts- und Hochwert der Baumspitze (aus Laserpunkten berechnet und nicht etwa identisch mit dem Zentroid des Kronensegments)

SegmFlaeche: Fläche des Kronenpolygons bzw. des OBIA Segments

VERSUCH_NR: Versuchsnummer aus gelieferter Datei „Versuche_Umriss.shp“

Scene_Name: Interne, einmalige ID für die Versuchsflächen.

3.3 Berechnung der Kronenparameter

Die Berechnung der Kronenparameter erfolgte für jede in e.cognition segmentierte Krone getrennt und auf Basis der normalisierten Laserpunktwolke. Das Normalisieren der Laserdaten und das "Ausstanzen" der Punkt wolke mit den segmentierten OBIA Kronen erfolgt in FUSION mit dem Befehl "clipdata" (alternativ kann die gesamte Punkt wolke in Fusion mit dem DTM in einem separaten Schritt normalisiert werden). Als Ergebnis erhält man für jedes Kronenpolygon eine kleine Datei, welche die normalisierten Laserhöhenpunkte der entsprechenden Krone enthält (wie zum Beispiel die Dateien im Verzeichnis "LiDAR\sued\single_trees_test"). Zur Analyse dieser Kronenpunkt wolke wurde eigens das Hilfsprogramm AtLaS entwickelt, dessen Installationsdatei zusammen mit einer kurzen Beschreibung sich im Ordner „AtLaS“ befindet (bitte "readme.txt" zur Installation lesen und "h.htm" für eine allgemeine Anleitung).

3.3.1 Das Programm AtLaS

AtLaS kann Dateien im Format *.las oder *.xyz lesen, die als Einzeldatei und/oder als Dateiliste eingelesen werden. Das Programm verarbeitet die in den OBIA Kronensegmenten liegenden LiDAR Punkte und greift damit – anders als bei einem interpolierten Raster – auf die originäre Information der Laserbefliegung zurück.

Das Programm berechnet folgende Parameter:

[File name]	Name der Datei mit den berechneten Werten
[Tree height]	Baumhöhe
[Crown height]	Kronenansatzhöhe
[Crown length]	Kronenlänge.
[HOLCW]	Höhe der maximalen Kronenbreite
[Crown max width]	mittlere Kronenbreite auf der Höhe der maximalen Kronenbreite [HOLCW].
[Crown radius]	mittlerer Kronenradius
[2D crown area]	Kronenschirmfläche (planimetrische Kronenfläche).
[3D crown area]	Kronenmantelfläche.
[Crown volume]	Kronenvolumen
[X]	Rechtswert der Baumspitze (höchster Laserpunkt im Kronensegment)
[Y]	Hochwert der Baumspitze
[Maximal radius at the HOLCW]	maximaler Radius am [HOLCW] Wert.
[Minimal radius at the HOLCW]	minimaler Radius am [HOLCW] Wert
[Mean radius at the HOLCW]	mittlerer Radius am [HOLCW] Wert
[Maximal width at the HOLCW]	maximale Kronenbreite am [HOLCW] Wert
[Minimal width at the HOLCW]	minimale Kronenbreite am [HOLCW] Wert
[8 crown radius]	8 Kronenradien in den Haupthimmelsrichtungen N, NO, O, SO, S, SW, W, NW.

Über zwei Parameter Einstellungen können die Bestandesverhältnisse (Parameter A, einstellbar von „Bestände ohne Unterstand und mit Kronen ohne Trockenäste“ bis zu „Beständen mit dichtem Unterstand und Kronen mit zahlreichen Trockenästen“) und die Genauigkeit der Messung (Parameter B, von 0,2 bis 2 Meter) geregelt werden.

Im Ausgabefenster werden die Ergebnisse dargestellt und aufgetretene Fehler werden zur Kontrolle der Ursache mit einem entsprechenden Fehlercode aufgelistet.

File name	Tree height	Crown height	Crown length	HOLCW	Crown max width	Crown radius	Crown 2D area	Crown 3D area	Crown volume
128.xyz	30.440000	11.950000	18.490000	20.950000	8.960000	4.866250	74.394137	292.296704	458.515867
385.xyz	29.280000	13.930000	15.350000	18.930000	7.680000	3.798750	45.334756	188.715083	231.962834
386a.xyz	32.320000	13.420000	18.900000	18.920000	9.330000	3.510000	38.704735	211.973660	243.839833
1313.xyz	ERROR!!! No file found								
386.las	31.120000	13.420000	17.700000	18.920000	9.330000	4.760000	71.180957	274.089639	419.967644
111.las	30.440000	18.450000	11.990000	18.450000	6.740000	3.652500	41.911220	143.823337	167.505175
385.las	28.870000	13.930000	14.940000	18.930000	7.680000	2.766250	24.039902	132.041856	119.718712
386a.xyz	32.320000	13.420000	18.900000	18.920000	9.330000	3.510000	38.704735	211.973660	243.839833
128.xyz	30.440000	11.950000	18.490000	20.950000	8.960000	4.866250	74.394137	292.296704	458.515867
385.xyz	29.280000	13.930000	15.350000	18.930000	7.680000	3.798750	45.334756	188.715083	231.962834
386a.xyz	32.320000	13.420000	18.900000	18.920000	9.330000	3.510000	38.704735	211.973660	243.839833
386.las	31.120000	13.420000	17.700000	18.920000	9.330000	4.760000	71.180957	274.089639	419.967644
111.las	30.440000	18.450000	11.990000	18.450000	6.740000	3.652500	41.911220	143.823337	167.505175
385.las	28.870000	13.930000	14.940000	18.930000	7.680000	2.766250	24.039902	132.041856	119.718712
386a.xyz	32.320000	13.420000	18.900000	18.920000	9.330000	3.510000	38.704735	211.973660	243.839833
128.xyz	30.440000	11.950000	18.490000	20.950000	8.960000	4.866250	74.394137	292.296704	458.515867
385.xyz	29.280000	13.930000	15.350000	18.930000	7.680000	3.798750	45.334756	188.715083	231.962834
386a.xyz	32.320000	13.420000	18.900000	18.920000	9.330000	3.510000	38.704735	211.973660	243.839833
386.las	31.120000	13.420000	17.700000	18.920000	9.330000	4.760000	71.180957	274.089639	419.967644
415.las_N	21.970000	18.200000	3.770000	18.200000	2.900000	1.721250	9.307602	22.410411	11.696553
111.las	30.440000	18.450000	11.990000	18.450000	6.740000	3.652500	41.911220	143.823337	167.505175
385.las	28.870000	13.930000	14.940000	18.930000	7.680000	2.766250	24.039902	132.041856	119.718712
386a.xyz	32.320000	13.420000	18.900000	18.920000	9.330000	3.510000	38.704735	211.973660	243.839833
128.xyz	30.440000	11.950000	18.490000	20.950000	8.960000	4.866250	74.394137	292.296704	458.515867
385.xyz	29.280000	13.930000	15.350000	18.930000	7.680000	3.798750	45.334756	188.715083	231.962834
386a.xyz	32.320000	13.420000	18.900000	18.920000	9.330000	3.510000	38.704735	211.973660	243.839833
386.las	31.120000	13.420000	17.700000	18.920000	9.330000	4.760000	71.180957	274.089639	419.967644
111.las	30.440000	18.450000	11.990000	18.450000	6.740000	3.652500	41.911220	143.823337	167.505175
385.las	28.870000	13.930000	14.940000	18.930000	7.680000	2.766250	24.039902	132.041856	119.718712
386a.xyz	32.320000	13.420000	18.900000	18.920000	9.330000	3.510000	38.704735	211.973660	243.839833
128.xyz	30.440000	11.950000	18.490000	20.950000	8.960000	4.866250	74.394137	292.296704	458.515867
385.xyz	29.280000	13.930000	15.350000	18.930000	7.680000	3.798750	45.334756	188.715083	231.962834
386a.xyz	32.320000	13.420000	18.900000	18.920000	9.330000	3.510000	38.704735	211.973660	243.839833
128.xyz	30.440000	11.950000	18.490000	17.950000	10.030000	4.866250	74.394137	292.296704	458.515867
385.xyz_EROR_I	29.280000	0.000000	29.280000	-0.070000	9.260000	4.101250	52.842383	380.939754	515.741660
386a.xyz_EROR_I	32.320000	0.000000	32.320000	-0.080000	11.220000	4.310000	58.358538	441.495361	628.715980

Abbildung 15: Ausgabe der Ergebnisse im Programm AtLaS

3.3.2 Kronenparameter im vorgegebenen GIS Datenmodell

Nach Vorgabe der in der Ausschreibung enthaltenen Datenmodells wurden die Kronenparameter in die Attributtabelle der Datei „kronensegmente_geglaettet.shp“ geschrieben.

Die Attributtabelle wurde dabei um einige Parameter erweitert, um alle in AtLaS berechneten Parameter darstellen zu können. Sofern daran kein Bedarf besteht, können diese Spalten ohne weiteres wieder gelöscht werden.

Die Attributtabelle der Datei „kronenparameter_geglaettet.shp“ hat folgende Form. Farblich unterlegte Felder wurden abweichend vom vorgegebenen GIS Datenmodell von uns hinzugefügt, können bei Bedarf aber auch jederzeit wieder gelöscht werden. Unterstrichene Felder können zur Verknüpfung mit anderen Tabellen genutzt werden:

Spalten	Typ (Länge)	Beschreibung
FID	Object ID (4)	ArcGIS Object ID
Shape	Polygon	ArcGIS Feature Type
<u>OBJECTID</u>	Double (19)	Intern vergebene „unique“ ID von 1 – 7666. Diese ID ist i.d.R. für die von uns prozessierten Objekte in den unterschiedlichen Shape Dateien durchgängig und kann auch zum Verknüpfen verschiedener Tabellen genutzt werden, sofern hierzu nicht BAUM_ADR benutzt wird (z.B. für Bäume mit der Baumnummer 0, die nicht über BAUM_ADR identifiziert werden können).
VERSUCH_NR	Long (5)	Vom AG vorgegebene Nummer des Versuches (Quelle „versuche_umrisse.shp“)
BAUM_NR	Double (10)	Alle Laserkronen, die den im Feld markierten Bäume zugeordnet werden konnten haben deren Baumnummer erhalten (Quelle: ("BaumXYmH_ohneAUS.shp"). Alle anderen sind mit 0 bezeichnet.
<u>BAUM_ADR</u>	String (9)	Kombination aus VERSUCH_NR und BAUM_NR, um eine einmalige ID für alle den im Feld markierten Bäume zugeordneten Laserkronen zu erhalten (für Bäume mit der Nummer 0 kann auf OBJECTID zurückgegriffen werden).
BAUM_HOEHE	Double (19)	Baumhöhe, entspricht dem größten im OBIA Kronensegment liegenden Laserpunktwert.
KB_MAX	Double (19)	Maximale Kronenbreite
H_KB_MAX	Double (19)	Höhe an der die maximale Kronenbreite gemessen wurde
KB_MIN	Double (19)	Minimale Kronenbreite auf Höhe der maximalen KB gemessen.
KB_MTL	Double (19)	Mittlere KB, gemessen auf Höhe der max. KB
KR_N	Double (19)	Länge des nördlichen Kronenradius, auf Höhe der max KB gemessen.
KR_NO	Double (19)	Länge des nordöstlichen Kronenradius, auf Höhe der max KB gemessen.
KR_O	Double (19)	Länge des östlichen Kronenradius, auf Höhe der max KB gemessen.
KR_SO	Double (19)	Länge des südöstlichen Kronenradius, auf Höhe der max KB gemessen.
KR_S	Double (19)	Länge des südlichen Kronenradius, auf Höhe der max KB gemessen.
KR_SW	Double (19)	Länge des südwestlichen Kronenradius, auf Höhe der max KB gemessen.

KR_W	Double (19)	Länge des westlichen Kronenradius, auf Höhe der max KB gemessen.
KR_NW	Double (19)	Länge des nordwestlichen Kronenradius, auf Höhe der max KB gemessen.
KSFL	Double (19)	Kronenschirmfläche, planimetrische Fläche berechnet aus den Laserpunkten innerhalb des OBIA Kronensegments, was eine mögliche Abweichung zur GIS Fläche der Kronenpolygone erklärt.
KA	Double (19)	Höhe des Kronenansatzes (Beginn der grünen Krone)
KL	Double (19)	Kronenlänge
KMFL	Double (19)	Kronenmantelfläche
KV	Double (19)	Kronenvolumen
BAUM_RW	Double (19)	Rechtswert der Baumspitze, gerechnet aus der Laserpunkt- wolke innerhalb der OBIA Kronensegmente. Sehr selten (geschätzt unter 5%) kann es vorkommen, dass sich die OBIA Segmente auf den höher liegenden Randbereich einer benachbarten Krone erstrecken, was dazu führt, dass der höchste Laserpunkt an dieser Stelle gefunden wird. Die Folge ist eine Verschiebung der Baumspitze an den Randbereich des OBIA Kronensegments (siehe Datei „kronenspitzen_aus_OBIA+AtLaS.shp“).
BAUM_HW	Double (19)	Hochwert der Baumspitze (siehe Beschreibung unter BAUM_RW)
BEMERKUNG	String (80)	Feld für Bemerkungen
DATUM	String (80)	Feld für Datumsangabe
BEARBEITER	String (32)	Feld für Name des Bearbeiter
ERRORCODE	Double (10)	Errorcode laut GIS Datenmodell
MaxR	Float (8)	Maximaler Radius gemessen auf Höhe der größten Kronenbreite
MinR	Float (8)	Minimaler Radius gemessen auf Höhe der größten Kronenbreite
MeanR	Float (8)	Mittlerer Radius gemessen auf Höhe der größten Kronenbreite
Scene_Name	String (254)	Interne, einmalige Markierung der Versuchspolygone. Eine „Zuordnung“ dieser ID zu den im Feld „VersuchNr“ ursprünglich vergebenen IDs findet sich in der Shape Datei „versuche_neue_unique_ids“. Flächen mit einer Pufferzone sind durch den Zusatz „_2“ gekennzeichnet, ihre Kernzone durch „_1“.

area_obia	Double (11)	Die planmetrische GIS Fläche des aus der OBIA Segmentierung stammenden Kronenpolygons, es ist im Mittel um ca. 3% größer als die geglätteten Kronen in „kronenparameter_geglaettet.shp“. Die Berechnung des Wertes für die KSFL wurde anhand der Laserpunkte innerhalb des OBIA Kronensegmentes gemacht und weicht daher in der Regel von den im GIS dargestellten Kronenpolygonen ab.
ID_atlas	Short (4)	Interne ID zur Verarbeitung der Daten im AtLaS Hilfsprogramm

Tabelle 2: Attributtabelle der Shape Datei „kronenparameter_geglaettet.shp mit den berechneten Kronenparametern.

3.4 Vergleichende Ergebnisse zwischen terrestrischer Messung und Laser Messung

Hinweis:

Alle Tabellen hierzu befinden sich im Ordner „Vergleich“

Alle Shape Dateien sind im Ordner „Shape“ abgelegt und tragen den Begriff „vergleich“ im Dateinamen.

In den im Ordner „Vergleich“ abgelegten Tabellen (im xls und pdf Format) sind die Ergebnisse im Detail für jeden Baum aufgelistet. Am Ende der Tabelle ist der arithmetische Mittelwert der Abweichungen und die der Berechnung zugrundeliegende Anzahl der Vergleichsbäume aufgeführt.

Jede Tabelle ist auch als Attributtabelle zur Shape Datei mit den detektierten und geglätteten Kronen angehängt, um die Ergebnisse für einzelne Bäume im GIS visualisieren zu können.

Versuchsfläche	Von Sachsenforst gelieferte Datei (siehe hierzu auch Datei documentation.doc vom 16.09.11)	Aufnahmejahr	Exceldatei und PDF mit Ergebnissen (gespeichert in Ordner: Vergleich)	Shape Datei mit Ergebnissen (gespeichert in Ordner: Shape)
1023 Olbernhau	1023_Ertrag_1997_2005_2010.xls	2005, 2010	1023_Vergleich_v16.xls/pdf	1023_vergleich_kronen_geglaettet_v16.shp
2002 Olbernhau (DBF)	DBF_Ertrag09.xls	2009	2002_DBF_Vergleich_v10.xls/pdf	2002_vergleich_kronen_geglaettet_v3.shp
1046 Zöblitz (WUmbau)	1046_Zöblitz34_Ertrag2008.xls	2010	1046_Vergleich_v5.xls/pdf	1046_vergleich_kronen_geglaettet_v7.shp

4043 Zöblitz (Struktur DF)	StrukturDF_Zöblitz2008.xls	2008	4043_Vergleich_v9.xls/pdf	4043_vergleich_kronen_ge- glatttet_v9.shp
-------------------------------	----------------------------	------	---------------------------	--

Tabelle 3: Übersicht über die zu vergleichenden Versuche

Der Aufbau der Vergleichstabellen (z.B. "Vergleich/1023_Vergleich_v16.pdf/xls") zeigt zuerst die aus der Shape Datei mit den berechneten Kronenparameter entnommenen Spalten (siehe hierzu voriges Kapitel).

Daran schließen sich die Spalten aus den von Sachsenforst gelieferten *.xls Dateien, jedem Spaltennamen ist die Versuchsnummer vorangestellt (z.B. 1023KBMX05 = Versuch 1023, maximale Kronenbreite aus 2005).

Zuletzt reihen sich die neu erzeugten Spalten mit den Ergebnissen der Vergleichswerte einzelner Kronenparameter (z.B. DiffKA = Differenz Kronenansatz)..

Spalten, die miteinander verglichen wurden, sind zu besserer Lesbarkeit einheitlich eingefärbt.

3.4.1 Versuch 2002

LiDAR aus 2009, Feldmessungen aus 2009.

Die mittlere Abweichung der 85 verglichenen Bäume beträgt für die Baumhöhe 0,16 Meter (die LiDAR Wert liegen im Mittel um 0,16 m höher) und für den Kronenansatz -1,41 m (LiDAR Werte liegen im Mittel um 1,41 m tiefer als die Feldmessungen).

3.4.2 Versuch 1043

LiDAR aus 2009, Feldmessungen aus 2005 und 2010, wobei die Höhe z.T. errechnet wurde.

Die Abkürzungen der Spalten in der Vergleichstabelle/Shape Attributtabelle bedeuten:

DiffHoehe05 und DiffHoehe05: Differenz aus Laserhöhe und Höhenmessung aus 2005 bzw. 2010

DiffKA05 und DiffKA10: Differenz aus Kronenansatz der Laserdaten und Kronenansatz aus 2005 und 2010

DiffKL05: Differenz aus Kronenlänge der Laserdaten und Kronenlänge aus 2005

DiffHKBM05: Differenz der Höhe der größten Kronenbreite

DiffKBMX05: Differenz der maximalen Kronenbreite

DiffKRN05, DiffKRNO05, etc.: Vergleich von 6 nach den Haupthimmelsrichtung ausgerichteten Laserkronenradien mit den nicht streng nach den Himmelsrichtungen gemessenen Radien der Feldaufnahme aus 2005. Die Radien der Feldaufnahmen wurden durch einen Nordwinkel gekennzeichnet, die Zuordnung zu den Laserradien erfolgte gutachtlich.

Merkmal	Höhe	KA	KL	H KB- max	KB- max	KR N	KR NO	KR SO	KR S	KR SW	KR NW	Höhe	KA
Jahr	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2010	2010
Anzahl d. Messun- gen	153	153	153	153	153	44	44	44	4344	43	43	96	96

Mittelwert der Abweichungen	1,93	1,54	1,30	1,62	0,14	0,15	-0,03	-0,63	-0,71	-0,56	-0,24	-0,66	-0,79
-----------------------------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabelle 4: Vergleichsergebnisse Versuch 1023

3.4.3 Versuch 1046

Für die Fläche 1046 wurden 396 LiDAR Messungen aus 2009 mit Feldmessungen von 2010 (z.T. mit errechneten Höhen und Kronenbreiten und Kronenansatzhöhen) verglichen.

Das Zuordnung der Bäume war auf dem generell schlechteren LiDAR Modellen der nördlichen Befliegung äußerst schwierig, weshalb die Ergebnisse sehr kritisch betrachtet werden müssen: die mittlere Abweichung beträgt für die Baumhöhe -1.12 m , für die Kronenbreite -0,92 und für den Kronenansatz 2.54. D.h im Mittel lag der Laserwert für Höhe und Kronenbreite unter dem ein Jahr später im Gelände aufgenommenen Wert. Der Kronenansatz war allerdings bei den Lasermessungen im Mittel 2.54 höher als bei den Feldmessungen.

3.4.4 Versuch 4043

Sehr schlecht ließen sich auch die Bäume auf der Fläche 4043 „matchen“. Hier muss von einem großen Fehler aufgrund der nicht eindeutig durchführbaren Zuordnung von Laserbäumen zu terrestrisch nummerierten Bäumen ausgegangen werden. Das kann sich auch auf den Vergleich der Kronenparameter auswirken:

Es wurden 78 Bäume manuell zugeordnet. Die mittlere Abweichung der Höhe der Laserbäume von den im Jahr 2008 im Gelände gemessenen Baumhöhen beträgt 1,6 Meter, jedoch finden sich Bäume mit 5, 8 oder 10 m Abweichung darunter. Die mittlere Abweichung für die Höhe des Kronenansatzes beträgt 4,17 Meter., auch hier treten Extremwerte von über 10 Metern auf, die einer falschen Zuordnung der Einzelbäume zuzuschreiben sind.

3.5 Berechnung der Höhenperzentile

Hinweis:

alle Geodaten und Tabellen zu diesem Kapitel befinden sich im Ordner „3DModelle/perzentile“
alle Shapes hierzu im Ordner „Shape“

Auf Grundlage der Kronenmodelle für den Nordteil und Südteil wurden mit der Software FUSION das 10., 25., 75. und 90. Perzentil der normalisierten Höhen gerechnet und als 2 m und 5 m Rasterdatei abgespeichert (siehe Ordner „3DModelle/perzentile“).

Nach Rücksprache mit Sachsenforst wurde anstelle des Anteils der Punkte über dem Median, der Anteil über dem Mode Wert berechnet, das ist der am häufigsten vorkommende Wert einer Verteilung. Nach gemeinsamer Einschätzung ist dieser Wert Aussage kräftiger und zur Beschreibung der Bestände daher besser geeignet.

Zudem wurden für alle Versuchsflächen folgende statistischen Höhenwerte aus dem Kronenmodell abgeleitet, die für die Beschreibung der Bestände genutzt werden können (siehe Tabelle „statistics_for_plots_percentilesV3.xls/pdf“ im Ordner „3DModelle/percentile“ und die mit dieser Statistik verknüpfte Shape Datei „percentile_pro_versuchsflaeche.shp“ im Ordner „Shape“):

Minimum, Maximum, Mean, Mode, StdDev, Variance, CV, Interquartile Distance, Skewness, Kurtosis, AAD, L-moments L1 - L4, CV, L skewness, L kurtosis, Percentiles (P) 01, P05, P10, P20, P25, P30, P40, P50, P60, P70, P75, P80, P90, P95, P99

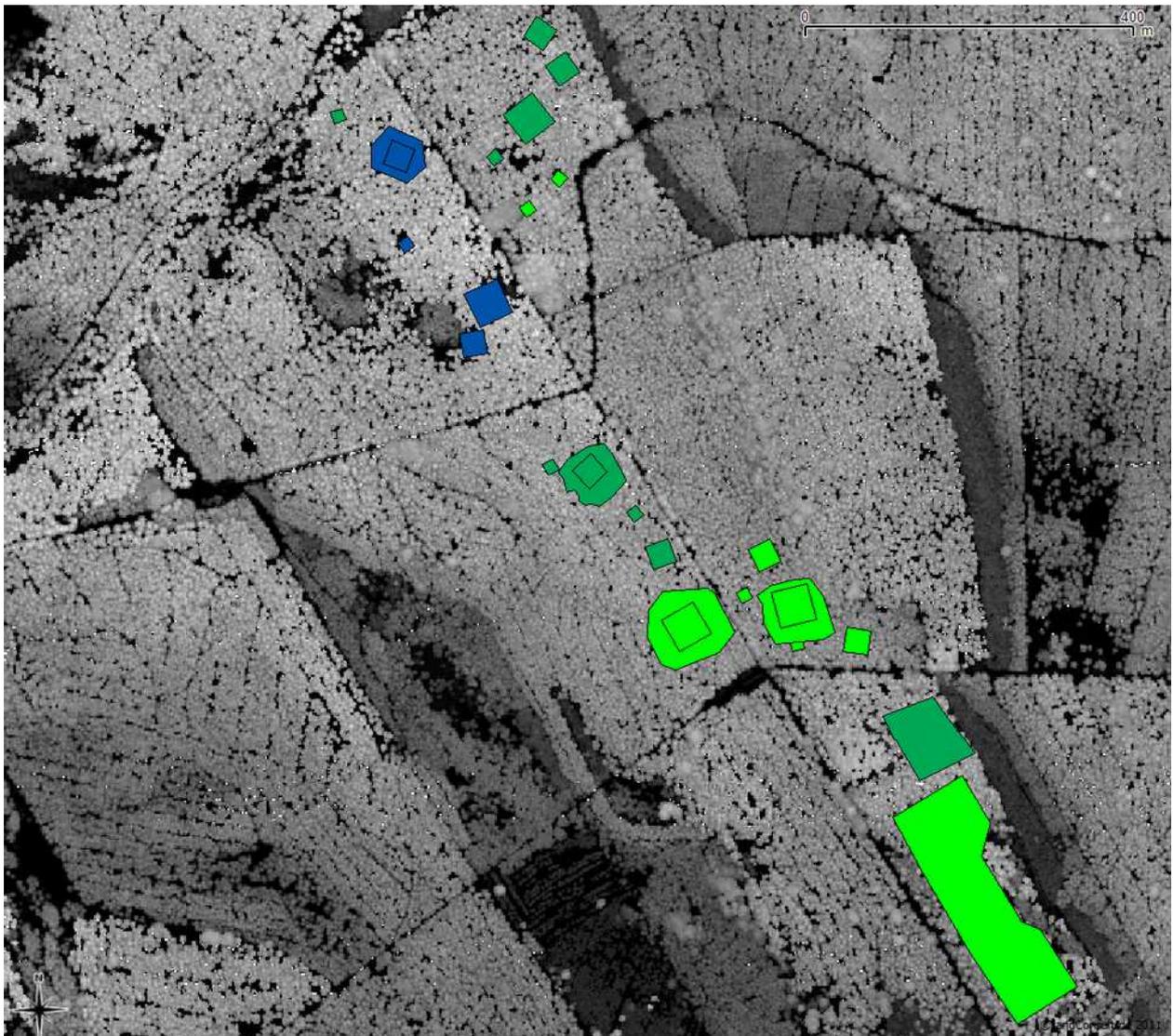


Abbildung 16: 2m Raster des 90. Höhenperzentils ((Datei „S10_2m_percentile90.tif“) hinter der Shape Datei „percentile_pro_versuchsflaeche.shp“, mit den Versuchsflächen Olbernhau die nach dem 99igsten Höhenperzentil klassifiziert sind (hellgrün: 24.3 – 27.2 m, blaugrün: 27.2 – 30.2 m , blau: 30.2 – 33.1 m)

4 Schlussfolgerung und Ausblick

Ein großer Teil der Projektzeit musste für die Vorbereitung der Daten, insbesondere zur Durchführung des Vergleichs zwischen terrestrisch gemessenen und digitale vermessenen Kronen geplant werden. Für die Anpassung der Punktshapes mit den terrestrischen Bäumen an die Laserbäume war viel "Handarbeit" nötig, die auch durch Programm Routinen nicht ersetzt werden konnte, weil es sich hier nicht um eine systematische, sondern um eine zufällige Verschiebung der beiden Datensätze handelte. Zudem musste das Problem einer fehlenden klaren Topologie mit eindeutigen ObjectIDs für die vom AG bereitgestellten Flächen- und Punktshape Dateien gelöst werden.

Die von der beauftragten Firma ILV gelieferten Datensätze weisen zudem einige Mängel auf, die es zu erkennen galt. Die unterschiedliche Qualität der Laserdaten, die an zwei Tagen mit unterschiedlicher Flughöhe und Flugrichtung erhoben wurden, ging über den beabsichtigten Unterschied der Punktdichte hinaus. Diese allgemeine Heterogenität der Laserdaten (kleinflächige Unterschiede der Punktdichte, Datenlücken, Laserschatten, verschobene Punktduplikate, etc.) hat den gesamten Prozessablauf und das abschließende Ergebnis zweifellos beeinflusst. Abschließend kann nicht einmal zweifelsfrei festgestellt werden, welcher Datensatz (Punktdichte über 10 Punkte/qm oder Punktdichte über 5 Punkte/qm) besser geeignet ist, da sich gezeigt hat, dass der Datensatz über "10 Punkte/qm" im Norden schlechtere Ergebnisse lieferte als der Datensatz "über 5 Punkte/qm". Im Süden des Testgebietes war dies aber genau umgekehrt, dort lieferte der Datensatz "10 Punkte/qm" die besseren Ergebnisse (die einfachste Erklärung hierfür könnte in einer möglichen Verwechslung bei der Dateinamensgebung seitens ILV liegen).

Für zukünftige Planungen wäre es hilfreich bei der Laserbefliegung darauf zu achten, dass der Laserintensitätswert und die Anzahl der Returns pro Laserstrahl aufgezeichnet werden, da diese zusätzliche Information hilfreich für die Kronensegmentierung ist und bis zu einem gewissen Grad die spektrale Information der Luftbilder ersetzt.

Wegen der dargestellten Probleme der vorhandenen Luftbilder und Orthophotos konnten diese nicht wie gewünscht eingesetzt werden. Vor allem war das Fehlen eines auf die Laserkronenoberfläche entzerrten "TrueOrthophoto" und die Tatsache, dass die Bilder nicht als 4 Kanalbilder, sondern als RGB Komposit, geliefert wurden, auch ein Grund dafür, auf die weitere Verwendung der Orthophotos zu verzichten. Die Ergebnisse, des Versuchs, mittels stereometrischer Auswertung ein auf die Bildinformation passendes Höhenmodell zu erzeugen, können nicht mit der Genauigkeit der gelieferten Laserdaten konkurrieren. Allerdings erscheint es lohnenswert diesen Ansatz, der zumindest auch genaue Einzelbaumhöhen liefern kann, weiter zu verfolgen, bspw. um die nötigen Modellparameter zur Entzerrung von Bildanalysen auf Grundlage des Originalluftbildes (z.B. NDVI Berechnung, Kronensegmentierung, oder Spektralanalysen zur Baumartentrennung) zu erzeugen.

Lässt man die vielen Datenvorbereitungsschritte, die v.a. mit FUSION und GIS erledigt wurden, einmal außer Acht, so zeigt sich, dass das vorgestellte Verfahren zur Vermessung der Baumkronen im wesentlichen auf zwei Säulen steht:

1. Der Segmentierung des nDSM zur Abgrenzung der Kronenfläche mit e.cognition und
2. Der Vermessung der Punktwolke innerhalb dieser Kronenfläche mit AtLaS.

Es ist leicht nachzuvollziehen, dass Ungenauigkeiten in jedem dieser zwei Prozessteile im Endergebnis sichtbar werden, wobei Fehler bei der Segmentierung zwangsläufig Fehler bei der Analyse der Einzelbaumpunktwolke nach sich ziehen.

Besonderes Augenmerk ist daher zunächst einmal auf die Genauigkeit der Kronensegmentierung zu richten. Diese kann durch die Verwendung hochwertiger Laser Datensätze verbessert werden oder aber auch durch die Kombination von Laser und Bilddaten, was in diesem Fall technisch leider nicht zu bewerkstelligen war.

Die speziell für das Projekt entwickelten Algorithmen (e.cognition Regelwerk und AtLaS Software) liefern die hier vorgestellten Ergebnisse. Sie wurden im Laufe des Projektes für die vorherrschenden Verhältnisse ständig optimiert und können direkt vom AG für weitere Analysen in vergleichbaren Waldgebieten eingesetzt werden.

Der Vergleich der einigermaßen zuverlässig zuordenbaren Bäume hat einen relativ geringen mittleren Fehler ergeben, was für die Nutzung von Laserdaten spricht. Allerdings darf der Einfluss falsch zugeordneter Bäume, sowie der unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte zwischen Laser- und Feldmessungen (1 - 4 Jahre) und mögliche Fehler bei der terrestrischen bzw. Laser Vermessung nicht unberücksichtigt bleiben.

Im Gegensatz zur manuellen terrestrischen Vermessung, lassen sich die Ergebnisse der LiDAR Vermessung i.d.R. eindeutig reproduzieren und folglich auch "erklären". Dieser Umstand ist damit die beste Grundlage für einen kontrollierten Einsatz des Verfahrens in der Praxis.

5 Anhang

. 1 Liste der Datensätze auf der DVD

5.1.1 Wurzelverzeichnis:

Hier befindet sich dieser Abschlussbericht als PDF und *.doc Datei.

5.1.2 Verzeichnis 3DModelle:

Hier befinden sich alle LiDAR Modelle, wie DTM, DSM, nDSM oder Höhenperzentile etc. sowie die versuchsweise gerechneten Stereomodelle.

5.1.3 Verzeichnis Anlage:

Hier finden sie einige im Laufe des Projektes produzierte Abbildungen, Screenshots, Präsentationen und Dokumente als zusätzliche, nicht aber näher beschriebene Information. Im Ordner Abbildungen/georeferenziert sind die Abbildungen mit einem "world file" für die georeferenzierte Darstellung im GIS abgelegt.

5.1.4 Verzeichnis AtLaS

Hier befinden sich die Installationsdateien für das AtLas Programm und eine Helpdatei und eine Readme Datei, die sie vor der Installation kurz lesen sollten.

5.1.5 Verzeichnis Fusion:

Hier befindet sich die von uns benutzte freie Version Fusion 2.9 mit dem dazugehörigen Handbuch.

5.1.6 Verzeichnis LiDAR:

Hier befinden sich LiDAR Dateien, die als Zwischenprodukte der Prozesskette abgespeichert wurden, z.B. Laserpunkte von Versuchsflächen oder von ausgewählten Einzelbäumen.

5.1.7 Verzeichnis Ruleset:

Hier befindet sich das Regelwerk für e.cognition 8.7, die Datei mit dem Namen „ruleset_find_and_delineate_trees.dcp“, und eine kurze Beschreibung zur Funktionsweise und zur Nutzung des Regelwerkes in e.cognition 8.7.

5.1.8 Verzeichnis Shape:

Hier befinden sich alle von uns produzierten Shape Files, sowie die von Sachsenforst gelieferten Baum Punkt Datei „BaumXYmH_ohneAUS.shp“ und die Versuchsflächen „versuche_umrisse.shp“.

5.1.9 Verzeichnis Vergleich:

Hier befinden sich die Tabellen des Vergleichs LiDAR/Feldmessung.

5.2 Tabellen des Vergleichs einzelner Bäume

Dateien im Ordner "Vergleich"

1023_Vergleich_v16.pdf/xls

1046_Vergleich_v5.pdf/xls

2002_DBF_Vergleich_v10.pdf/xls

4043_Vergleich_v8.pdf/xls

5.3 Statistische Auswertung der Baumhöhen und Höhenperzentile

Datei "3DModelle\perzentile\ statistics_for_plots_percentilesV3.pdf\xls"