

12BE005

Abschlussbericht

Bundesweite Streuobsterhebung mittels Fernerkundungsdaten - Erhebung Nordrhein-Westfalen

Durchführungszeitraum: 22.05.2013 – 24.02.2014

Autorin: C.Storch

durchgeführt von der



GAF AG

Arnulfstraße 199 80634 München

+49 (0) 89 / 12 15 28 – 0

info@gaf.de

<http://www.gaf.de>

im Auftrag der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Bonn

Inhaltsverzeichnis

1. Ziele und Aufgabenstellungen des Projekts	1
2. Planung und Ablauf des Projekts	3
3. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	5
4. Material und Methoden	6
4.1 Eingangsdaten	6
4.1.1 Fernerkundungsdaten	6
4.1.2 Thematische Zusatzdaten	11
4.1.3 Datengrundlage der Validierung	12
4.2 Methoden und Regeln zur Standortermittlung	12
4.3 Ermittlung der Zuverlässigkeit der Streuobstklassifikation	23
4.4 Methoden zur Bestandsformanalyse	23
4.5 Validierungskonzept.....	29
5. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse.....	31
5.1 Statistische Auswertung	31
5.2 Validierung.....	33
6. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	40
7. Zusammenfassung	41
8. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen & Empfehlungen für die Datenprozessierung	42
Literaturverzeichnis.....	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Punktdichte und Aktualität der klassifizierten Laserscan-Punktwolken für Nordrhein-Westfalen; Quelle: http://www.bezreg-koeln.nrw.de ; Stand 14.02.2013.....	7
Abbildung 2: Graphische Darstellung der klassifizierten Laserscan-Punktwolken; F=First Pulse, L=Last Pulse; inhaltliche Erläuterung vgl. Tabelle 1; Darstellung übernommen aus:....	8
Abbildung 3: zweidimensionale Darstellung des First Returns (FP) aus Laserscan Punktwolken (oben) sowie perspektivische Ansicht einer Baumreihe entlang einer Straße (A) und eines Einzelbaum (B) im Offenland.....	10
Abbildung 4: digitales Oberflächenmodell DOM (links) und digitales Geländemodell DGM, abgeleitet aus klassifizierten Laserscan-Rohdaten.....	14
Abbildung 5: normiertes Oberflächenmodell nDOM (links) und vorklassifizierte Daten.....	14
Abbildung 6: Standorterfassung, Testgebiet nahe Königswinter: normiertes Oberflächenmodell (oben) und finale Klassifikation/Standortbewertung	18
Abbildung 7: Darstellung einer Streuobst-Baumreihe im Laserscan (First-Pulse). Zweidimensionale Darstellung der Daten (oben) und perspektivische Seitenansicht der Punktwolke einer Streuobst-Baumreihe (unten);	19
Abbildung 8: Perspektivische Darstellung der Laserscan Punktwolke (First Pulse) im Bereich einer Bahntrasse	20
Abbildung 9: Workflow zur Streuobsterhebung	22
Abbildung 10: Ermittlung der Bestandsform für extrahierte Streuobststandorte; Erläuterung im Text	25
Abbildung 11: unzulässige Baumreihen innerhalb flächiger Bestände	26
Abbildung 12: Erfassung linearer Strukturen; Erklärung im Text.....	27
Abbildung 13: iterativ durchlaufener Entscheidungsbaum zur regelbasierten Bestandsformanalyse.....	28
Abbildung 14: Bestandsflächenbildung, Convex Hull Algorithmus	29
Abbildung 15: geschichtete (stratifizierte) Stichprobe zur Standortvalidierung; Erklärung im Text.....	31
Abbildung 16: Übersicht über das Ergebnis einer Validierungskachel aus dem Naturraum Bergisches Land; die den Kommissionsfehler dominierende Ursache „Standort ist Teil eines Landschaftselements“ ist deutlich an der räumlichen Verteilung erkennbar (gelbe Punkte) ..	37

Abbildung 17: graphischer Darstellung des Kommissionsfehlers nach der Häufigkeit des gemessenen Durchmessers 39

Abbildung 18: validierte Stichprobe im Bereich einer Überland-Stromleitung; fehlerhaft erfasste Standorte im DOP (links) und Darstellung der Höhen im normierten Oberflächenmodell (rechts) 40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: thematische Tiefe der vorklassifizierten Laserscan-Rohdaten, bereitgestellt durch die Bezirksregierung Köln 8

Tabelle 2: Thematische Zusatzdaten und ihre Funktion in der operationellen Bearbeitung.... 11

Tabelle 3: Übersicht über zentrale, zur Streuobsterfassung parametrisierte Dateneigenschaften 14

Tabelle 4: naturräumliche Stratifizierung zur Stichprobenauswahl 30

Tabelle 5: Anzahl der Streuobstbäume in den naturräumlichen Einheiten NRWs 31

Tabelle 6: Streuobst-Bestandsformstatistik NRW 32

Tabelle 7: Validierungsergebnis Nordrhein Westfalen Gesamt 34

Tabelle 8: Validierungsergebnis im Naturraum Bergisches Land 34

Tabelle 9: Validierungsergebnis im Naturraum Münsterländische Tieflandsbucht 35

Tabelle 10: Validierungsergebnis im Naturraum Niederrheinisches Tiefland und Kölner Bucht 35

Tabelle 11: Validierungsergebnis im Naturraum Weser- und Weser-Leine-Bergland 35

Tabelle 12: Erfassungskategorien der Kartierfehler durch visuelle Interpretation 36

Abkürzungsverzeichnis

ALS	Airborne Laserscanning
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
DGM	Digitales Geländemodell
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DOM	Digitales Oberflächenmodell
nDOM	Normiertes Oberflächenmodell
DOP	Digitales Orthophoto
GAF	Gesellschaft für Angewandte Fernerkundung
GIS	Geographisches Informationssystem
LE	Landschaftselement
LiDAR	Light Detection And Ranging
NRW	Nordrhein-Westfalen
LPB	Last Pulse Boden
LPNB	Last Pulse Nicht-Boden
FP	First Pulse
RGB	RGB-Farbraum (Rot, Grün, Blau)

1. Ziele und Aufgabenstellungen des Projekts

Als Streuobst werden überwiegend hochstämmige, großkronige Obstbäume meist unterschiedlicher Arten – v.a. aber Apfel, Birne, Kirsche, Zwetschen und Walnuss – in naturverträglicher Bewirtschaftung bezeichnet. Die Bäume stehen oft in weiträumigen Abständen locker über Flächen verteilt, aber auch als punkt- oder linienförmige Anpflanzungen entlang von Wegen. Üblich ist eine Mehrfachnutzung der Flächen als Dauergrünland oder Weide, seltener als Acker- oder Gartenland. Die in Deutschland typischste Erscheinungsform ist die Streuobstwiese, die als Lebensraum für tausende Arten einen bedeutenden Beitrag zum Erhalt genetischer Vielfalt leistet.

Vor allem wegen der Intensivierung in der Landwirtschaft muss von einem drastischen Rückgang der Streuobstbestände in Deutschland seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ausgegangen werden. Da die letzte bundesweite Erhebung im Jahr 1965 durchgeführt wurde, ist das wahre Ausmaß der Dezimierung nicht quantifizierbar. Daher soll nun mit der flächenhaften Verfügbarkeit geeigneter Fernerkundungsdaten eine Neuinventarisierung existierender Streuobstbestände durchgeführt werden. Die aktualisierte Datenbasis soll im Speziellen eine bessere Umsetzung der Ziele zur Erhaltung und Förderung von Streuobstbeständen durch Unterstützung bei der Aufwandsabschätzung, Bewertung und Planung erhaltender Maßnahmen ermöglichen. Diese sind in der Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt (BMU 2007), der Agrobiodiversitätsstrategie des BMELV (BMELV 2007) sowie dem Nationalen Fachprogramm zum Erhalt pflanzengenetischer Ressourcen landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Kulturpflanzen (BMELV 2012) aufgeführt.

Die Bereitstellung der Information über eine Webanwendung zur Identifizierung von Einzelbaumstandorten wird vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) als langfristiges Ziel der bundesweiten Erfassung ausgegeben.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes sollen einzeln stehende Streuobstbäume mittels automatisierter Fernerkundungsverfahren erfasst und bezüglich Zahl und räumlicher Anordnung für gegebene Naturräume statistisch ausgewertet werden. Das Ergebnis bildet die Datengrundlage zur räumlichen Darstellung innerhalb eines geographischen Informationssystems (GIS).

Hierbei geht es nicht um methodische Untersuchungen sondern vielmehr um die technische Umsetzung vorgegebener Anforderungen und eine automatisierte, operationelle Extraktion von Streuobststandorten – hier für das Land Nordrhein-Westfalen. So waren wesentliche Parameter und Regeln zur Standortbewertung bereits durch die Erkenntnisse aus Vorstudien festgeschrieben. Als Ergebnis sollten die Koordinaten aller vorgefundenen Streuobstbäume ausgegeben werden. Angestrebt wurde eine Trefferquote von 90%. Zusätzlich war eine Standortanalyse durchzuführen, wobei die Daten nach ebenfalls vorgegebenen Kriterien den drei Bestandsformen flächig, linienförmig und punktförmig zugeordnet werden sollten.

Für die Erfassung sind Daten aus Laserscan-Befliegungen vorgesehen, die in unterschiedlicher Auflösung und Aktualität als flächendeckende Datenquelle durch die Vermessungsverwaltungen der Länder zur Verfügung gestellt werden. Da Qualität und Prozessierungslevel der Laserscandaten in den Ländern sehr inhomogen sind, ist eine länderweise Erfassung geplant. Im vorliegenden Projekt sollen nun die Streuobstbestände des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen erfasst werden.

2. Planung und Ablauf des Projekts

Für das Projekt war ein Durchführungszeitraum von 8 Monaten vorgesehen. Davon waren sieben Monate für die Prozessierung der Daten und ein Monat für die Fertigstellung des Abschlussberichts vertraglich festgelegt. Ein Auftaktgespräch sollte vier Wochen nach Auftragserteilung in Bonn stattfinden.

Das Projekt konnte in einem Zeitraum von neun Monaten durchgeführt werden. Ursache der Verlängerung waren ein erhöhter Rechenaufwand infolge einer Vertragsänderung und Verzögerungen bei der Lieferung der für die Durchführung der Validierung notwendigen DOP. Der genaue Ablauf des Projektes wird im folgenden Absatz beschrieben.

Das Projekt wurde im Zeitraum zwischen der Vergabe am 22.5.2013 und der Lieferung des Abschlussberichts am 24.02.2014 durchgeführt. Wegen der mit dem technischen Angebot einzureichenden Probearbeit auf zwei vom Auftraggeber bestimmten, 1km² großen Testgebieten wurde jedoch das methodische Vorgehen zur Standortextraktion im Wesentlichen bereits in der Angebotsphase fixiert und mit der Vergabe vom Auftraggeber akzeptiert.

Zur Bewertung der mit dem Angebot gelieferten Arbeitsprobe war durch die BLE eine Referenzkartierung im Gelände durchgeführt worden. Im Rahmen des am 13.06.2013 durchgeführten Auftaktmeetings wurde das entwickelte regelbasierte Verfahren anhand des hierauf basierenden Validierungsergebnisses in den Testgebieten diskutiert und im Nachgang im Zuge einer Neubearbeitung an die konkreten Anforderungen in einem der Testgebiete angepasst. Hierfür mussten zum einen wesentliche Eingangsparameter der Algorithmen zur Standorterfassung modifiziert werden. Zum anderen wurde eine Überarbeitung des Regelwerks zur Bewertung der extrahierten Standorte beschlossen. Zur Anpassung der Methodik stellte der Auftraggeber die Ergebnisse der Referenzkartierung im Testgebiet in digitaler Form zur Verfügung.

Darüber hinaus wurde während des Auftaktmeetings der Bedarf zur Änderung der in der Leistungsbeschreibung festgelegten Kriterien zur Bestandsform-Ermittlung identifiziert. Einen entsprechenden Änderungsvorschlag erarbeitete die GAF im Nachgang des Treffens.

Die oben beschriebene Anpassung der Methodik zur Standortermittlung war mit der Lieferung des Ergebnisses im Testgebiet am 30.09.2013 abgeschlossen.

Die Ergebnisse der anhand der Referenzkartierung beiderseits durchgeführten Validierung wurden in einem weiteren Projektmeeting am 15.10.2013 diskutiert. Durch die Überarbeitung konnte eine Verbesserung der Trefferquote im Testgebiet von 76,4% auf 89,7% erreicht werden. Die damit einhergehende Erhöhung des Überschätzungsfehlers im vollautomatisierten Verfahren wurde vom Auftraggeber in Kauf genommen.

Im Rahmen des zweiten Projektmeetings präsentierte die GAF weiterhin ein Vorschlag zur Änderung der Regeln zur Bestandsformanalyse – insbesondere zur Definition linienförmiger Bestandsformen im Kontext flächiger und punktförmiger Bestände, der mit den teilnehmenden Vertretern der BLE abgestimmt wurde. Die überarbeitete Version wurde am 30.10.2013 in einem Arbeitsdokument fixiert und gemeinsam mit den Ergebnissen einer exemplarischen Umsetzung auf dem zweiten, bereits in der Angebotsphase bearbeiteten 1x1km² großen Testgebiet mit vorherrschend linienhaften Beständen beim Auftraggeber eingereicht.

Die Prüfung des Vorschlags fand im Anschluss anhand der Testdaten durch die BLE statt. In einer abschließenden Telefonkonferenz am 04.12.2013 bestätigte die BLE das Vorgehen entsprechend des Vorschlags.

Darüber hinaus konnte anhand der Testdaten seitens des Auftraggebers der Bedarf zur Anpassung der Abstandsregeln innerhalb linearer Strukturen identifiziert werden. Die damit notwendige Vertragsänderung wurde am 16.12.2013 wirksam.

Aufgrund der Regeländerung musste außerdem die zu diesem Zeitpunkt bereits durchgeführte Strukturanalyse, auf der die Bestandsformanalyse nach den neu beschlossenen Kriterien aufsetzt, wiederholt werden. Wegen des erheblichen Rechenaufwands wurde eine Verlängerung der Bearbeitungsfrist um etwa 2½ Wochen zum 10.01.2014 gewährt.

Die Ergebnisse der Datenprozessierung lieferte die GAF dem Auftraggeber vollständig und fristgerecht am 10.01.2014. Die erfolgreiche Übernahme wurde am 13.01.14 fernmündlich bestätigt.

Im Anschluss an die Datenanalyse fand eine finale Validierung der Ergebnisse anhand einer stratifizierten Zufallsstichprobe auf digitalen Orthophotos (DOP) statt. Wegen des verspäteten Dateneingangs der bestellten DOP musste für die Anfertigung des Abschlussberichts eine Fristverlängerung um 2 Wochen zum 24.02.2014 beantragt werden.

3. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die zur operationellen Erkennung der Streuobststandorte in NRW verwendeten Parameter und Regeln bauen zum überwiegenden Teil auf den Erkenntnissen der Streuobsterfassung in Baden-Württemberg auf. Die folgenden streuobstbeschreibenden Eigenschaften wurden für die Umsetzung vorgeschrieben und sind der Vorstudie in Baden-Württemberg entlehnt (Schmieder, K. und C. Küpfer 2010):

- Baumhöhe < 25m
- Das Längen-Breiten-Verhältnis ist kleiner als 9:1
- Streuobstbäume stehen mindestens in einer Distanz von 10m zu Fließgewässern

Darüber hinaus wurden zur Erfassung in Baden-Württemberg die folgenden sog. Positivkriterien als Hinweis auf Streuobst definiert:

- (1) Im Umkreis von 3,5m wurde ein weiterer Standort vorläufig als Streuobstbaum klassifiziert
- (2) Das Pflanzraster liegt zwischen 6 und 11m
- (3) Wenn mindestens 40% aller Gehölze innerhalb einer ATKIS®-Basis-DLM Referenzfläche vorläufig als Streuobst klassifiziert wurden, ist der Rest auch Streuobst

Allerdings kann ein flächenhafter Streuobstbestand auch ein von Regel 2 abweichendes Pflanzraster aufweisen. Auch muss ein Streuobstbaum grundsätzlich nicht im Kontext anderer Streuobststandorte stehen (Regel 1). Darüber hinaus bleibt unklar, nach welchen Kriterien ein in (1) und (3) als „vorläufig Streuobst“ eingestuft Standort ermittelt werden muss. Daher musste auf die Anwendung der hier definierten Kriterien verzichtet werden, da diese keinen Erkenntnisgewinn bedeuten (Regel 1 und 2) oder in der dokumentierten Form nicht im regelbasierte Workflow abgebildet werden können (Regel 3). Auch war im vorliegenden Projekt kein Raum für Untersuchungen zur Übertragbarkeit typischer Erscheinungsformen von Streuobstbeständen Baden-Württembergs auf die Naturräume Nordrhein-Westfalens.

Eine sehr zuverlässige Abgrenzung von Einzelstandorten, insbesondere in dichten Beständen mit Kronenschluss und Stockwerkaufbau ist mithilfe einer 3D-Segmentierung von Laserscan-Punktwolken möglich. Reitberger et. al. (2009) beschreiben einen derartigen Ansatz für die

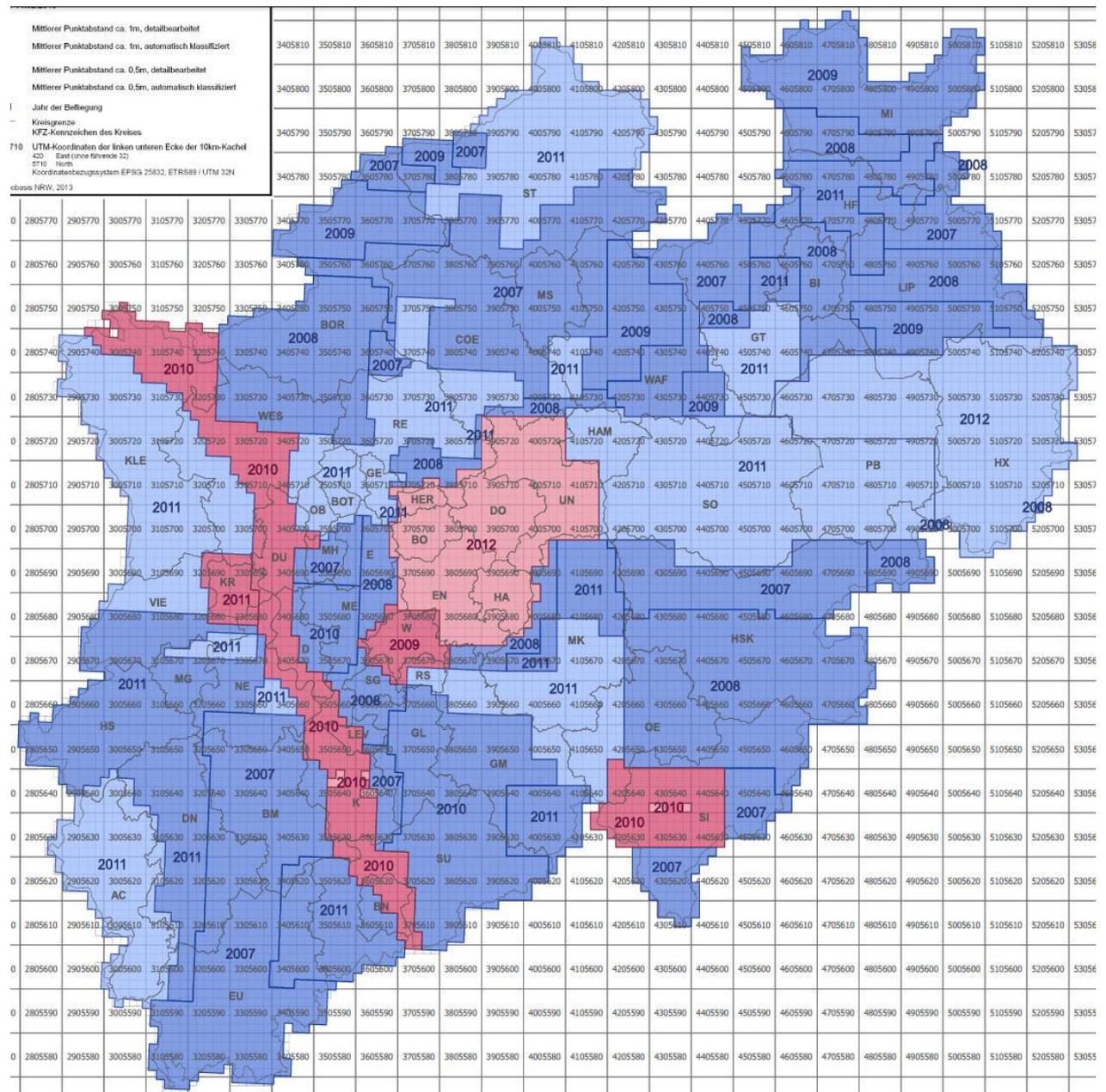
Standortabgrenzung aus Laserscandaten im Wald. Da Streuobst typischerweise in lockeren Beständen mit geringer Dichte, in der Regel ohne Kronenschluss und Stockwerkaufbau vorkommt, wurde im Projekt auf eine 3D-Segmentierung verzichtet. Stattdessen wurden zur Standorterfassung, analog zur Bearbeitung in Baden-Württemberg, Watershed-Algorithmen verwendet (vgl. Kapitel 4).

4. Material und Methoden

4.1 Eingangsdaten

4.1.1 Fernerkundungsdaten

Als Fernerkundungs-Datenquelle wurde die Information des für Nordrhein-Westfalen flächendeckend vorhandenen Laserscannings verwendet. Die während des Zeitraums 2006 – 2011 für das Land Nordrhein-Westfalen durchgeführten Befliegungen decken die Landesfläche mit einer Auflösung von mindestens einem Punkt pro Quadratmeter ab. Abbildung 1 zeigt den mittleren Punktabstand, die Aktualität sowie den Bearbeitungsstand der vorklassifizierten Laserscan-Punktdateien, die durch die Bezirksregierung Köln zur Verfügung gestellt wurden.



DGM1L / DOM1L

Stand: 14.02.2013

- Mittlerer Punktabstand ca. 1m, detailbearbeitet
 - Mittlerer Punktabstand ca. 1m, automatisch klassifiziert
- Mittlerer Punktabstand ca. 0,5m, detailbearbeitet
 - Mittlerer Punktabstand ca. 0,5m, automatisch klassifiziert

2011 Jahr der Befliegung

Abbildung 1: Punktdichte und Aktualität der klassifizierten Laserscan-Punktwolken für Nordrhein-Westfalen;
Quelle: <http://www.bezreg-koeln.nrw.de>; Stand 14.02.2013

Die Rohdaten werden in NRW als klassifizierte Punktwolken (DGM1L und DOM1L) in Form von ASCII-Tabellen durch die Bezirksregierung Köln bereitgestellt. Die verwendeten Standardprodukte sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Abbildung 2 zeigt die Inhalte der dort gelisteten, vorklassifizierten Rohdaten.

Tabelle 1: thematische Tiefe der vorklassifizierten Laserscan-Rohdaten, bereitgestellt durch die Bezirksregierung Köln

Produkt	Inhalt	Code in Abbildung 2
DGM1L	Bodenpunkte, Last-Pulse-Boden	1, 2, 3, 6, 8
	Herausgefilterte Nichtbodenpunkte, Last-Pulse-Nichtboden	5, 10
	Unterbodenpunkte	K
	Aufgefüllte Punkte unter Brücken	E, G, H
	Aufgefüllte Wasserflächen	A
	Aufgefüllte Gebäudeflächen	B, C, D
	Gefilterte Brückenpunkte oben	11
DOM1L	First-Pulse-Daten sämtlicher Punkte mit einer Reflexion	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11

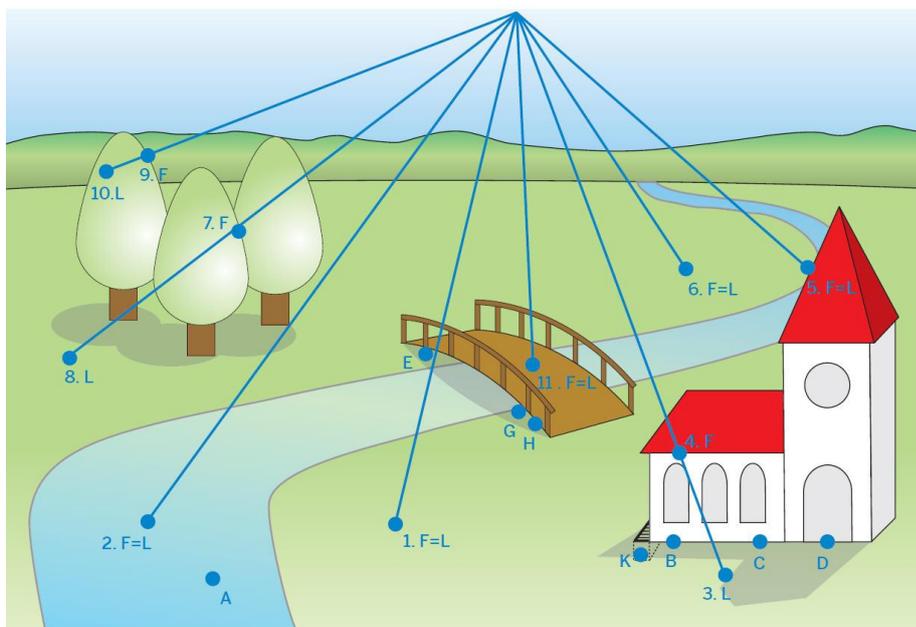


Abbildung 2: Graphische Darstellung der klassifizierten Laserscan-Punktwolken; F=First Pulse, L=Last Pulse; inhaltliche Erläuterung vgl. Tabelle 1; Darstellung übernommen aus:

www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/organisation/abteilung07/produkte/reliefinformationen/nutzerinformationen.pdf
letzter Zugriff 13.02.2014;

Die Datenerfassung erfolgte in Nordrhein-Westfalen in einem flugzeuggestützten Verfahren (Airborne Laserscanning, ALS). Hierbei wird das Gelände mittels eines gepulsten Lasers abgetastet, die Berechnung der Entfernung zur bekannten Position des Sensors erfolgt über eine Laufzeitmessung des gesendeten Signals. Die zur Abstandsmessung angewendete Methode wird als LiDAR bezeichnet.

Die an der Plattform ausgesendeten Laserpulse werden von Objekten auf der Erdoberfläche reflektiert. Dabei kommt es im Falle dreidimensionaler Vegetation zu Mehrfachreflexionen, die am Sensor als solche registriert werden können. Diese Dateneigenschaft ermöglicht die dreidimensionale Analyse von Vegetationsstrukturen oder auch die Herstellung digitaler Geländemodelle aus Laserscandaten. Im Falle registrierter Mehrfachreflexion kann das am Sensor eintreffende Signal in die Kategorien First-Pulse – die Reflexionen aus unterschiedlichen Positionen eines auf der Oberfläche befindlichen Objekts - und Last-Pulse (Reflexion vom Boden) eingestuft werden.

In Abbildung 3 ist ein aus dem DOM1L berechnetes Oberflächenmodell sowie die perspektivische Seitenansicht der Laserscan-Punktwolken (First Return) einer Baumreihe sowie eines freistehenden Baums im Offenland dargestellt.

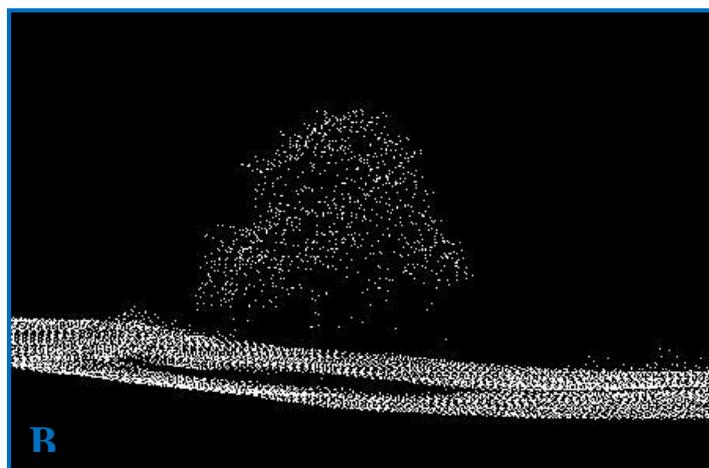
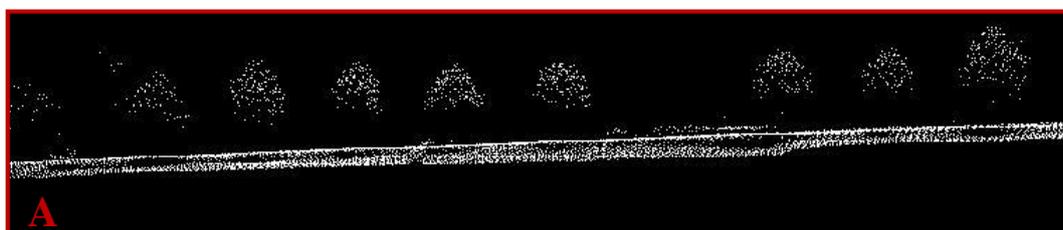


Abbildung 3: zweidimensionale Darstellung des First Returns (FP) aus Laserscan Punktwolken (oben) sowie perspektivische Ansicht einer Baumreihe entlang einer Straße (A) und eines Einzelbaum (B) im Offenland

4.1.2 Thematische Zusatzdaten

Neben den Fernerkundungsdaten war die Verwendung thematischer Zusatzdaten des digitalen Landschaftsmodells ATKIS®-Basis-DLM für die Bearbeitung verbindlich vorgeschrieben. Die Daten wurden einerseits zur Fokussierung auf die Offenlandschaft als auch zur Maskierung einer 10m respektive 5m breiten Pufferzone um Fließgewässer und Verkehrswege zur Verfügung gestellt.

Mit diesen Vorgaben wurden insbesondere die Erkenntnisse der Bearbeitung in Baden-Württemberg (vgl. Kapitel 3) verwertet. Darüber hinaus zeigte eine im Projektrahmen durchgeführte, kleinräumige Testumsetzung eine Häufung von fehlerhaft detektierten Standorten in unmittelbarer Nähe zu Verkehrsinfrastruktur. Aus diesem Grund wurde zusätzlich die Maskierung einer 5m breiten Pufferzone um Verkehrsflächen (d.h. Straßen und Bahntrassen) vorgegeben. Die für die Maskierung vorgesehenen Daten wurden in Form von nicht attributierten und bereits mit der Offenlandmaske verschnittenen, gepufferten Geometrien im ESRI-Shape-Format zur Verfügung gestellt.

Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der in der operationellen Datenverarbeitung eingesetzten thematischen Zusatzdaten.

Tabelle 2: Thematische Zusatzdaten und ihre Funktion in der operationellen Bearbeitung

Objektkategorie/ Bezeichnung	Spezifikation	Verwendung
Offenland	ESRI-Flächenshape; nicht attributiert	Fokussierung; Eingrenzung der Standortbestimmung auf Offenlandflächen
Fließgewässer/ Gewässerachse	ESRI-Flächen- und Linienshape; OBJART 44004 und 44001	Maskierung eines 10m Pufferbereichs (vordefiniertes Ausschlusskriterium)
Verkehrsflächen	ESRI-Flächen, 5m Pufferzonen um Verkehrswege (Bahntrassen, Straßen) im Überlappungsbereich mit Flächen der Objektkategorie Offenland; nicht attributiert	Maskierung

Großlandschaften NRW nach Ssymank	ESRI-Shapefile	1. Statistische Datenauswertung, differenziert nach den naturräumlichen Einheiten NRWs 2. Stratifizierung der DOP- Stichprobe zur Validierung der Ergebnisse
---	----------------	--

4.1.3 Datengrundlage der Validierung

Als unabhängige Datengrundlage für die Ergebnisvalidierung der Standortextraktion wurden zwölf zufällig für die in der Fläche dominierenden Naturräume ausgewählte, digitale Orthophotos (DOP) mit einer jeweiligen Abdeckung von 2x2km verwendet. Die Daten wurden in der Produktvariante RGB (Echtfarbdarstellung) mit einer Auflösung von 20cm durch die Bezirksregierung Köln bereitgestellt. Die Aufnahmezeitpunkte der Daten liegen in den Monaten März bis Juli der Jahre 2010 bis 2013.

Zusätzlich wurde zur Validierung das aus den Laserscan-Punktwolken flächendeckend abgeleitete normierte Oberflächenmodell (nDOM) im Rasterformat mit einer Auflösung von 1m verwendet.

4.2 Methoden und Regeln zur Standortermittlung

Die Datenauswertung wurde unter Verwendung der folgenden Software-Produkte durchgeführt:

- Die Module *txt2las* und *lastile* des Softwarepakets *LasTools* zur Formatkonvertierung und Mosaikierung der Laserscan-Rohdaten
- Die Trimble®-Software eCognition® zur Daten- und Bestandsformanalyse
- ArcGIS zur statistischen Auswertung der Ergebnisse

Die Software eCognition® bietet umfassende Werkzeuge zur Verarbeitung von Laserscandaten wie zur automatisierten Analyse von Fernerkundungsdaten anhand regelbasierter Workflows. Zudem ermöglicht das Programm die Entwicklung und Implementierung anwendungsspezifischer Algorithmen. Daher wurde die gesamte Datenanalyse mit Ausnahme der statistischen Auswertung der Ergebnisse mit eCognition durchgeführt.

Zum Import der zu verarbeiteten ASCII-Tabellen ins Programm wurden die Daten zunächst ins las-Format konvertiert. Die Konvertierung erfolgte automatisiert mittels des unter OpenSource Lizenz verfügbaren Moduls *txt2las* des Softwarepakets LasTools (<http://rapidlasso.com/>). Zur Mosaikierung der jeweils 1km² abdeckenden Dateien wurde *lastile.exe*, ein weiteres LasTools-Modul lizenziert und eingesetzt.

Im ersten Verarbeitungsschritt wurden die Eingangsdaten mittels der in Kapitel 4.1.2 beschriebenen Daten des ATKIS®-Basis-DLM maskiert, so dass die weitere Auswertung auf die Flächen der Objektkategorie Offenland – abzüglich einer 10 respektive 5m breiten Pufferzone um Fließgewässer und Verkehrswege - beschränkt blieb. Wald- und Siedlungsstrukturen wurden so von der Untersuchung ausgeschlossen.

Die als automatisch klassifizierte, teils detailbearbeitete Punktwolken vorliegenden Laserscan-Rohdaten (vgl. Abbildung 1) wurden zunächst in einem Vorverarbeitungsschritt rasterisiert. Dabei wurden verschiedene Datenprodukte durch Auswertung der für jedes Bildelement aus den unregelmäßigen Punktwolken errechneten Statistik erzeugt:

Als Grundlage für die Ableitung der Höhen dreidimensionaler Objekte auf der Erdoberfläche wurde ein normiertes Oberflächenmodell (nDOM) hergestellt. Dieses ergibt sich rechnerisch durch Subtraktion der Höhen eines Geländemodells (DGM) von denen eines Oberflächenmodells (DOM). Während das Geländemodell die Topographie der Erdoberfläche beschreibt, enthält das Oberflächenmodell die Information zur Höhe der Erdoberfläche inklusive aller darauf befindlichen, dreidimensionalen Objekte. DGM und DOM wurden für ein einheitliches Raster mit 1x1m Pixelgröße aus dem Minimum des Last Returns vom Boden (DGM) bzw. dem Maximum des First Returns (DOM) erzeugt (vgl. Kapitel 3). Rasterzellen ohne Information wurden jeweils mittels eines linearen Interpolationsverfahrens anhand gültiger Umgebungswerte gefüllt. Abbildung 4 zeigt je ein Beispiel für die aus den Laserscan-Punktwolken abgeleiteten Produkte.

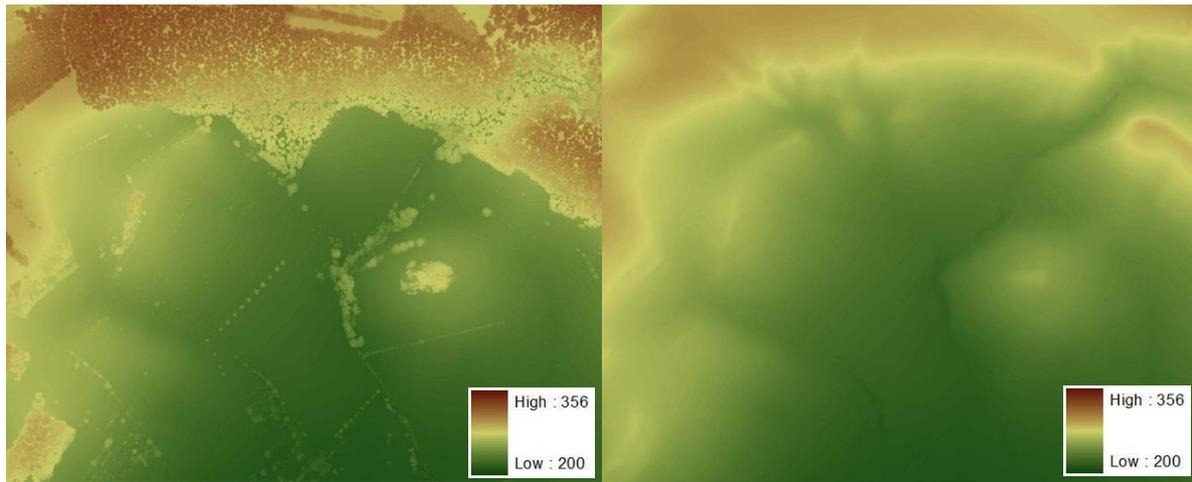


Abbildung 4: digitales Oberflächenmodell DOM (links) und digitales Geländemodell DGM, abgeleitet aus klassifizierten Laserscan-Rohdaten

Im nächsten Schritt wurden mit Hilfe des wie oben beschrieben abgeleiteten normierten Oberflächenmodells dreidimensionale Objekte durch Bildsegmentierung erfasst und den Kategorien Vegetation und Nicht-Vegetation (im wesentlichen Gebäude) zugewiesen.

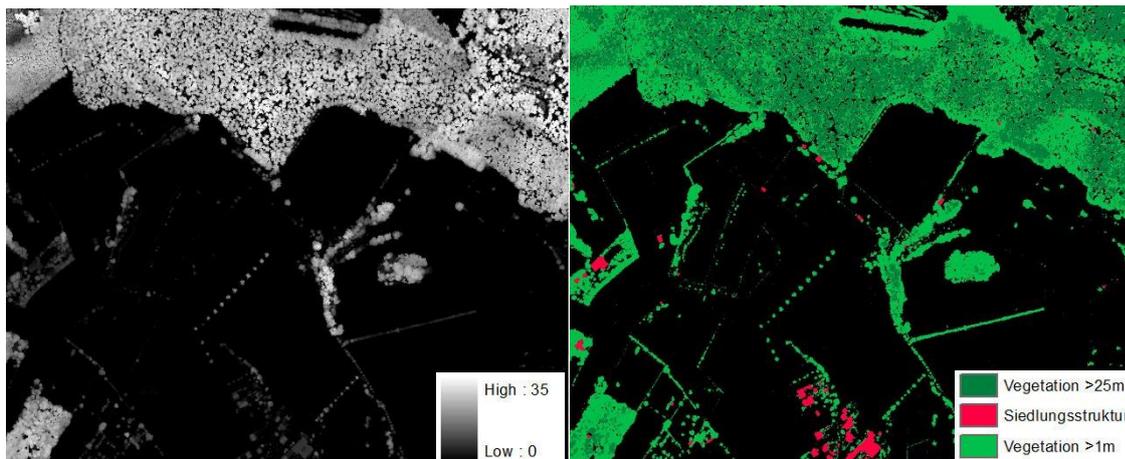


Abbildung 5: normiertes Oberflächenmodell nDOM (links) und vorklassifizierte Daten

Die durch die Bildsegmentierung erfassten Gehölze wurden im Anschluss in ihrer dreidimensionalen Struktur untersucht. Die wichtigsten, in einem fernerkundlichen Regelwerk parametrisierten Informationen aus den Laserscan-Rohdaten sind in Tabelle 3 gelistet.

Tabelle 3: Übersicht über zentrale, zur Streuobsterfassung parametrisierte Dateneigenschaften

Dateneigenschaft	Stratum/Domäne	Beispiel für abgeleitetes Produkt/Information
Minimum	Last Pulse Boden (LPB) First Pulse (FP)	Digitales Geländemodell DGM

		Gehölzdefinition ($FP_{\min} > 4,5m$), Verbuschung
Maximum	First Pulse	Digitales Oberflächenmodell DOM Gehölzdefinition ($FP_{\max} < 25m$)
		$nDOM = DOM - DGM$ (Objekthöhen)
	nDOM	Ausschlusskriterien: - Baumhöhe - Verhältnis Länge/Breite
Anzahl der Returns, Minimum, Maximum	First Pulse Last Pulse Boden Last Pulse Nichtboden (LPNB)	Objekt-Struktureigenschaften
Standardabweichung	First Pulse	Objekt-Struktureigenschaften

Zur Einzelbaumabgrenzung innerhalb teilweise verbuschter Standorte bzw. bei Kronenschluss frei stehender Bäume wurde die Kronenabgrenzung ausgehend von lokalen Maxima der Objekthöhen aus dem normierten Oberflächenmodell durchgeführt. Als zentrales Werkzeug zur Einzelbaumerfassung wurden jeweils unter Berücksichtigung vorgefundener Standortspezifika sequentiell Watershed-Transformationen durchgeführt.

Auf Basis der daraus resultierenden Detailsegmentierung erfolgte im Anschluss die Extraktion von Streuobststandorten. Zur Identifizierung wurden die Angaben aus der folgenden, den Ausschreibungsunterlagen entnommenen Streuobstdefinition parametrisiert:

Als Streuobstbaum gilt ein Baum mit mindestens 120cm bis zum Kronenansatz. Der Baumbesatz darf pro Hektar 200 Bäume nicht überschreiten. Bäume in Haus- und Kleingärten und komplett verbuschte Bestände sind ausgeschlossen.

Die Bewertung der Standorte erfolgte schließlich unter Verwendung der folgenden Regeln (vgl. auch Kapitel 3):

- Bei Bäumen, die eine Baumhöhe von über 25m haben, handelt es sich nicht um Streuobst
- Bei Bäumen, die ein Länge-Breiten-Verhältnis größer 9:1 haben, handelt es sich nicht um Streuobst

- Ein Streuobstbaum ist ein Baum mit mindestens 120cm bis zum Kronenansatz (Streuobstdefinition)
- Komplett verbuschte Bestände sind ausgeschlossen (Streuobstdefinition)
- Streuobststandorte sind ausschließlich innerhalb der Flächen des ATKIS®-Basis-DLM-Offenland, abzüglich einer beidseitigen, 10m breiten Pufferzone um Fließgewässer zu erfassen

Die Anwendung des Verbuschkriteriums erfordert die finale Bestandsflächenbildung über die zur statistischen Auswertung definierten Abstandsregeln der durch das Regelwerk identifizierten, potentiellen Einzelstandorte. Auf Basis dieser Bezugsflächen erfolgte die Entscheidung über die Verbuschung von Beständen und die anschließende Bewertung hinsichtlich der Streuobstdefinition. Für den Begriff Verbuschung wird dabei die folgende, im Vertragswerk festgehaltene Definition angewendet:

Bestände sind dann komplett verbuscht, wenn es auf der Fläche keinen einzigen frei stehenden Obstbaum mehr gibt. Freistehend bedeutet, dass man seine Stammlänge auch ohne die Notwendigkeit, begleitenden Gehölzaufwuchs entfernen zu müssen, erkennen kann.

Zusätzlich zu den oben genannten Ausschlusskriterien wurde im Projektverlauf der Bedarf nach weiteren Erfassungskriterien erkannt.

Die folgenden zusätzlichen Kriterien wurden im Projektverlauf in Abstimmung mit dem Auftraggeber definiert und bei der Datenverarbeitung berücksichtigt:

- Entlang von Gleiskörpern und qualifizierten Verkehrswegen sind in einer beidseitigen, 10m breiten Zone auf jeder Seite keine Streuobstbäume zu erfassen; Die Begrenzung erfolgt mit Hilfe der entsprechenden Daten aus dem ATKIS®-Basis-DLM
- Sind in einem flächigen Bestand 40% und mehr der identifizierten Objekte nicht als Streuobstbaum klassifiziert, so ist dieser Bestand als Ganzes nicht zu erfassen, da es sich hierbei z.B. um Weihnachtsbaumkulturen, verbuschte Streuobstbestände bzw. Feldgehölze handelt
- Baumstandorte innerhalb und am Rand von Landschaftselemente wie Hecken und Feldgehölze sind ausgeschlossen
- Der Abstand zwischen gültigen Standorten muss mindestens 2m betragen

Während zur Maskierung der Pufferzonen um Gleiskörper und Verkehrswege Daten aus dem ATKIS®-Basis-DLM zur Verfügung standen, musste der Ausschluss von Landschaftselement-Strukturen (Hecken und Feldgehölze) allein auf den Standortinformationen erfolgen, die mit den Laserscan-Daten zur Verfügung standen. Dazu wurden die aus dem Bild extrahierten Bestände einer strukturellen Analyse unterzogen. Abbildung 6 zeigt exemplarisch das Ergebnis der Standortermittlung, dargestellt auf dem normierten Oberflächenmodell für einen Ausschnitt nahe Königswinter.

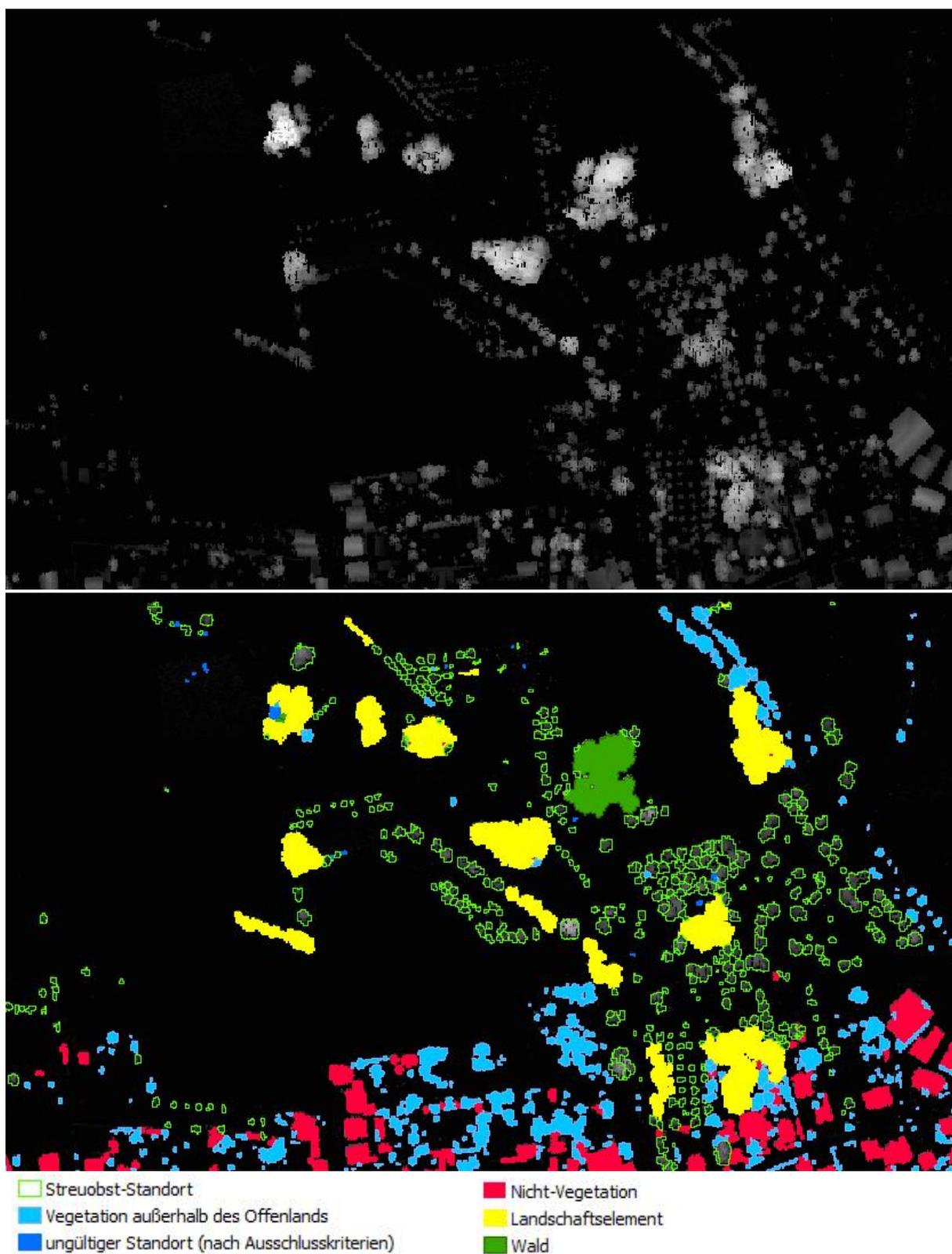


Abbildung 6: Standorterfassung, Testgebiet nahe Königswinter: normiertes Oberflächenmodell (oben) und finale Klassifikation/Standortbewertung

Neben den beschriebenen strukturellen, topologischen und formalen Ausschlusskriterien ist die Erfassungsgenauigkeit der Standorte durch die Genauigkeit der Laserscan-Daten limitiert. Das für die Angebotserstellung zu bearbeitende Testgebiet wurde – unter Verwendung der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Streuobst-Referenzkartierung - zur Optimierung der Genauigkeiten neu bearbeitet. Die angewendeten Erfassungskriterien wurden im Zuge dessen hinsichtlich des verursachten Auslassungsfehlers analysiert. Die Regeln zur Standortextraktion wurden anhand der Ergebnisse nach den Vorgaben des Auftraggebers angepasst:

Abbildung 7 zeigt neben einer zweidimensionalen Darstellung der Laserscan-First>Returns im Testgebiet eine Profilansicht von Streuobstbäumen, die nach den Vorgaben des Auftraggebers erfasst werden sollen. Die Standort-Erfassungskriterien wurden entsprechend modifiziert.

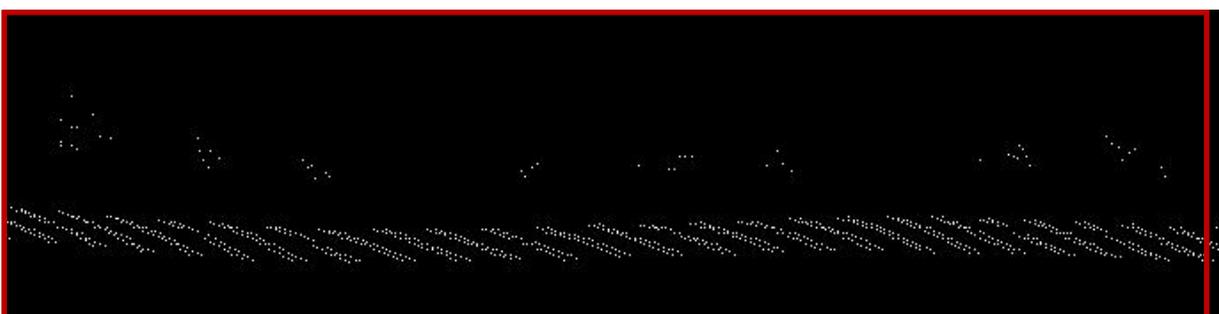


Abbildung 7: Darstellung einer Streuobst-Baumreihe im Laserscan (First-Pulse). Zweidimensionale Darstellung der Daten (oben) und perspektivische Seitenansicht der Punktwolke einer Streuobst-Baumreihe (unten);

Der Auftraggeber wurde darauf hingewiesen, dass für die dargestellten Dateninhalte eine eindeutige Identifizierung von Bäumen nicht möglich ist. Zum Vergleich zeigt Abbildung 8 ein Profil im Bereich einer Bahntrasse. Die Begleitstrukturen zeigen im Laserscan ein sehr ähnliches Muster, eine Unterscheidung ist ohne weitere Zusatzdaten kaum möglich. Als Maßnahme zur Minimierung des Überschätzungsfehlers wurden daher durch den Auftraggeber Informationen zu Verkehrs-Infrastruktur aus dem ATKIS®-Basis-DLM bereitgestellt (vgl. Erfassungskriterien oben).



Abbildung 8: Perspektivische Darstellung der Laserscan Punktwolke (First Pulse) im Bereich einer Bahntrasse

Zur Extraktion der auf ausdrücklichen Wunsch des Auftraggebers zu erfassenden Streuobst-Standorte aus Abbildung 7 wurden die Mindestkriterien wie folgt festgelegt:

- die im Laserscan gemessene Höhe beträgt mindestens 3m
- das Objekt ist durch mindestens 4 Punkte im Laserscan definiert
- die Punkte verteilen sich in der Ebene auf mindestens 1,5m² verteilt

Die damit für das Testgebiet erreichte Trefferquote betrug 89,7% (Berechnung durch Auftraggeber). Der in einer eigenen Berechnung zu erwartende Kommissionsfehler wurde auf bis zu 100% geschätzt. Darüber hinaus wurden die folgenden Einschränkungen formuliert:

- Es ist keine Differenzierung abgestorbener Streuobstbäume zu lebenden Bäumen mittels Laserscan-Rohdaten, die durch Winterbefliegungen erhoben worden sind, möglich.
- In der offenen Feldflur sind andere Laubbäume wie Feldahorn, Eiche, Erle, Baumhasel und Weide bei entsprechender Baumstruktur nicht von Streuobstbäumen abgrenzbar

Nach Extraktion aller nach Anwendung sämtlicher Erfassungskriterien identifizierten Standorte fand in einer finalen Prüfung eine Prüfung der Baumbesatzdichte innerhalb der untersuchten ATKIS-Basis-DLM Offenlandpolygone auf die maximale Bestandsdichte von 200 Bäumen pro Hektar statt.

Abbildung 9 zeigt zur Übersicht den gesamten Workflow zur Streuobsterhebung.

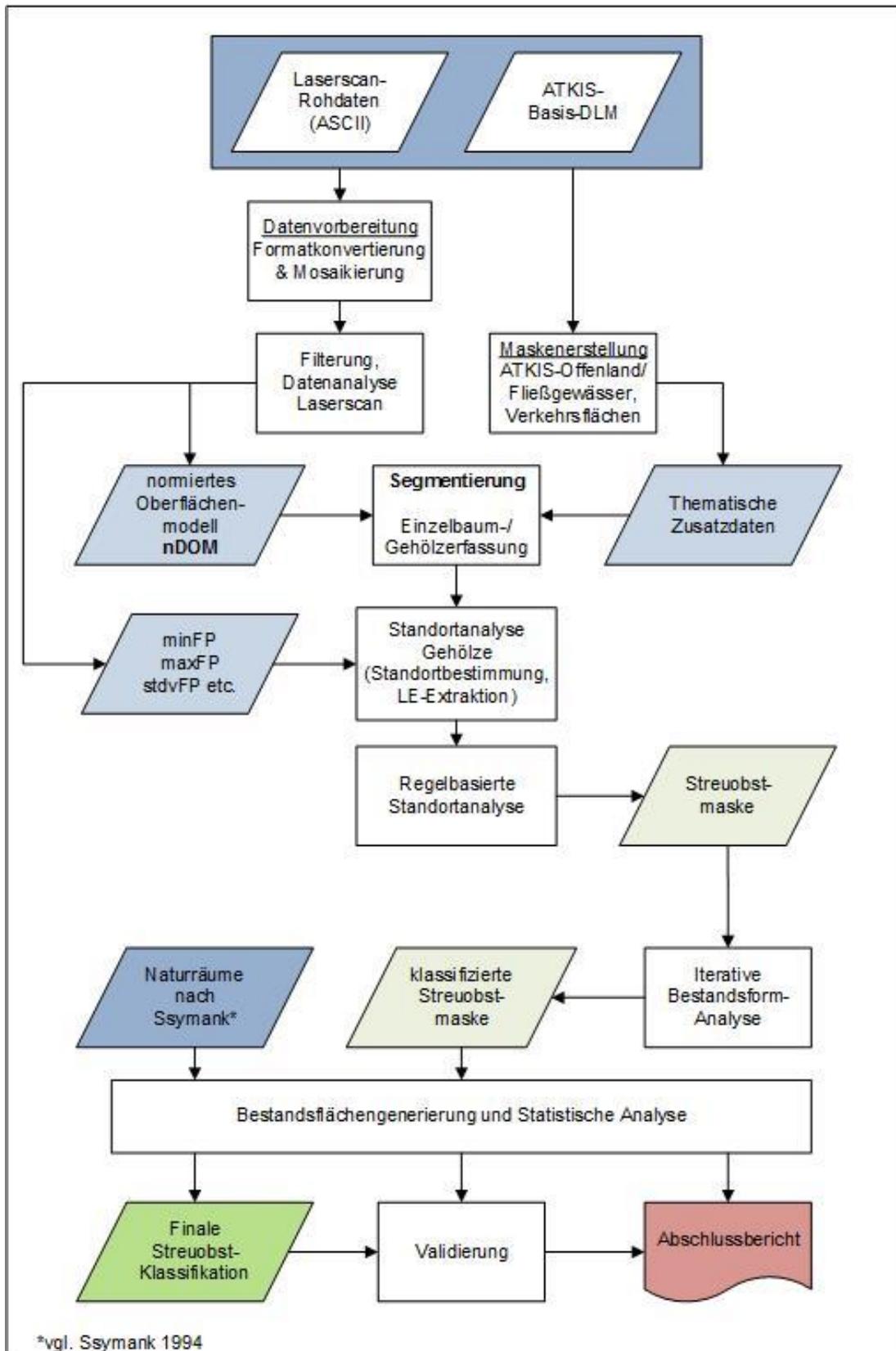


Abbildung 9: Workflow zur Streuobsterhebung

4.3 Ermittlung der Zuverlässigkeit der Streuobstklassifikation

Die Zuverlässigkeit der Streuobsterfassung wird durch die folgenden Faktoren beeinflusst:

- Genauigkeit der Eingangsdaten (Punktdichte, Zuverlässigkeit der Klassifizierung)
- Aktualität der Eingangsdaten (Termin der Laserscanbefliegung)
- Qualität des fernerkundlichen Regelwerks
- Qualität der Standortermittlung

Während Genauigkeit und Aktualität des Laserscans mit den Metainformationen der Daten bereitstehen und die dasselbe fernerkundliche Regelwerk für das gesamte untersuchte Gebiet angewendet wurde, müssen zur Bestimmung der Zuverlässigkeit der Streuobstklassifikation Parameter gefunden werden, über die sich die Qualität der Standortermittlung abschätzen lässt.

Um für jeden Standort eine qualitative Aussage zu ermöglichen, wurde die in den Daten gemessene relative Grenze der Baumkrone zu eventuell vorhandenen Nachbarbäumen attributiv erfasst. Der Maximalwert 1 (bzw. 100%) weist auf eine Verortung in einem sehr dichten Bestand mit Kronenschluss und eine geringere Zuverlässigkeit hin. Dagegen wird durch den Wert Null angezeigt, dass es sich um einen frei stehenden Baum handelt, wodurch eine sehr genaue Bestimmung von Position und Objekteigenschaften möglich ist. Zusätzlich enthalten die Daten mit der ermittelten Kronenfläche einen Hinweis auf die Dimension des gefundenen Objekts in den Fernerkundungsdaten. Eine Kombination beider Eigenschaften ermöglicht eine gute Abschätzung der Zuverlässigkeit des betreffenden Standorts.

4.4 Methoden zur Bestandsformanalyse

Zur Bestandsformanalyse, d.h. zur Zuordnung der aus den Laserscandaten extrahierten Standorte in die Kategorien *punktförmig*, *linienförmig* und *flächig*, waren vertraglich zunächst die folgenden Kriterien für die genannten Bestandsformen definiert, die jedoch im Zuge der operationellen Bearbeitung überarbeitet wurden:

Punktförmig: Einzelbaum oder Gruppe von zwei bis drei Bäumen in einem Abstand von max. 15m, *Abstand zum nächsten Obstbaumbestand von mehr als 40m¹*

Linienförmig: min. vier Bäume in einer Reihe, *Abstand zwischen den Bäumen max. 15m, Abstand zum nächsten Obstbaumbestand von mehr als 40m*

Flächig: min. vier Bäume über eine Fläche gestreut, Abstand zwischen den Bäumen von max. 40m

Bereits bei der Anfertigung der mit dem Angebot durchzuführenden Arbeitsprobe in den kleinräumigen Testgebieten wurde ein Bedarf zur Nachbesserung der Kriterien erkannt. Wegen der einzuhaltenden Mindestabstände der unterschiedenen Bestandstypen mussten sämtliche linienhaften Strukturen wegen der Nähe zueinander in flächigen Beständen zusammengefasst werden. Abbildung 10a zeigt einen Ausschnitt der zunächst durch den Baumreihenalgorithmus ermittelten linienhaften Strukturen für die kleinräumige Umsetzung der Angebotsphase. Die hier extrahierten, potentiell linienförmigen Bestände müssen allein wegen der Nähe zueinander – die gelbe Beschriftung zeigt den gemessenen Abstand zum nächstgelegenen Element eines weiteren linienförmigen Bestands – in benachbarte flächige Bestände integriert werden (Abbildung 10b). Dies wurde bei der Festlegung der Erfassungskriterien nicht beabsichtigt. Die Definition der linienhaften Bestände wurde daher durch die GAF überarbeitet: Die Abstände zwischen potentiellen Baumreihen erfolgt nun durch Distanzmessung der Bestandsschwerpunkte (Abbildung 10c). Damit dürfen sich linienhafte Strukturen nun grundsätzlich berühren oder auch schneiden. Darüber hinaus wird auf die Festlegung eines Mindestabstands zu Beständen anderen Typs verzichtet. Die ursprünglich als flächig einzustufenden Standorte können nun differenziert in den Kategorien punktförmig, linienförmig und flächig erfasst werden (Abbildung 10d).

¹ Die später geänderten Kriterien sind kursiv hervorgehoben.

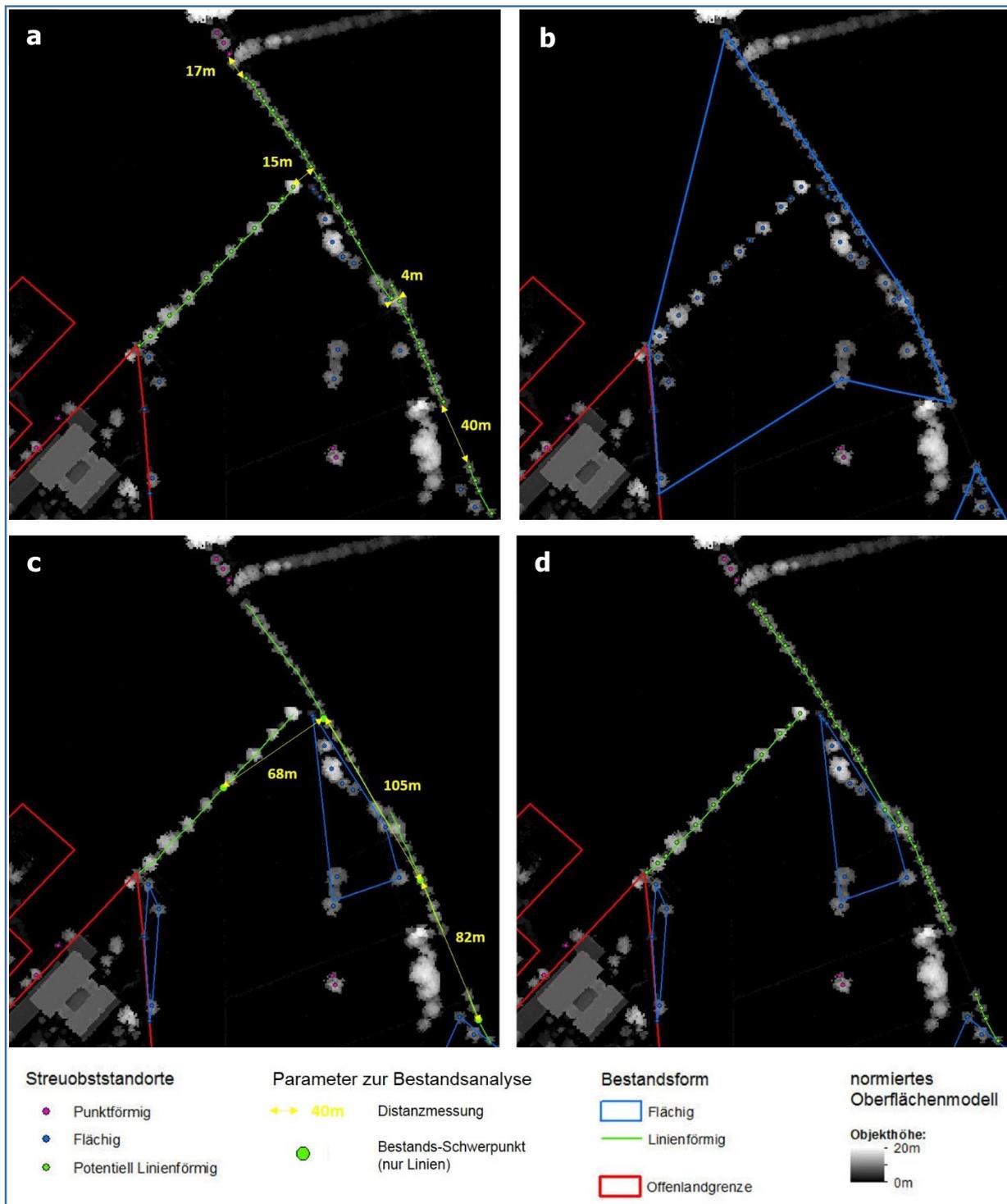


Abbildung 10: Ermittlung der Bestandsform für extrahierte Streuobststandorte; Erläuterung im Text

Eine Ausnahme bilden lineare Strukturen, die in vollem Umfang in Flächenbeständen beinhaltet sind oder diese schneiden. Diese werden, sofern die Einzelstandorte eine Mindestdistanz von 40m zu einem Standort des beinhaltenden Flächenbestands unterschreiten, als flächig eingestuft (Abbildung 11).

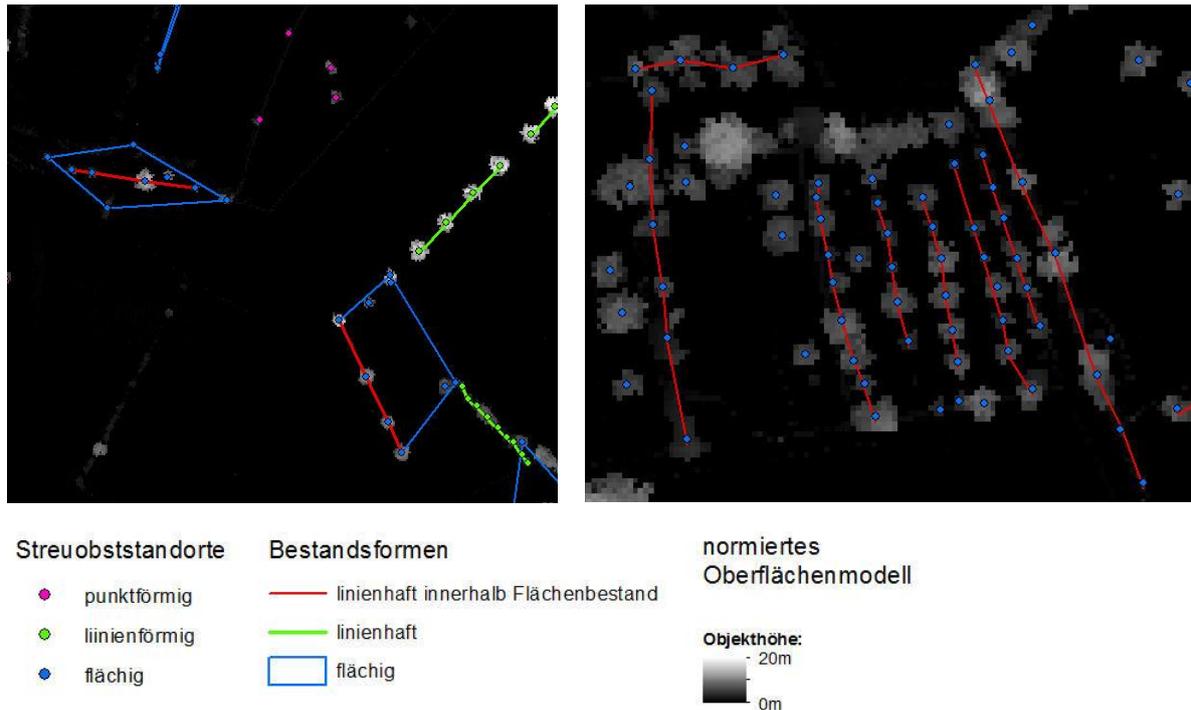


Abbildung 11: unzulässige Baumreihen innerhalb flächiger Bestände

Außerdem wurde auf Wunsch des Auftraggebers als Maximalabstand zweier Standorte einer linienförmigen Struktur statt der zunächst vereinbarten 15m ein Abstand von bis zu 25m zugelassen.

Die final zur Bestandsformermittlung angewendeten Regeln lauten schließlich:

Punktformig: Einzelbaum oder Gruppe von zwei bis drei Bäumen in einem Abstand von max. 15 m, Abstand zum nächsten flächenhaften Obstbaumbestand von mehr als 40 m

Linienförmig: min. vier Bäume in einer Reihe, Abstand zwischen den Bäumen von max. 25 m, Abstand zum nächsten linienförmigen Obstbaumbestand von mehr als 40 m; der linienförmige Bestand darf keinen flächenhaften Bestand kreuzen oder vollständig innerhalb dessen Bestandsfläche liegen;

Flächig: min. vier Bäume über eine Fläche gestreut, Abstand zwischen den Bäumen von max. 40 m

Zur Messung der Abstände wurde die Distanz der berechneten Kronenschwerpunkte (Fläche, Punkt) bzw. Bestandsschwerpunkte (Linien) ermittelt.

Zur Extraktion der Baumreihen aus den ermittelten Einzelbaumstandorten wurde ein von der GAF im Rahmen einer Studie zur Erkennung und Differenzierung von Landschaftselementen (LE) aus Punktdatenquellen entwickelter Algorithmus eingesetzt (Abbildung 12).

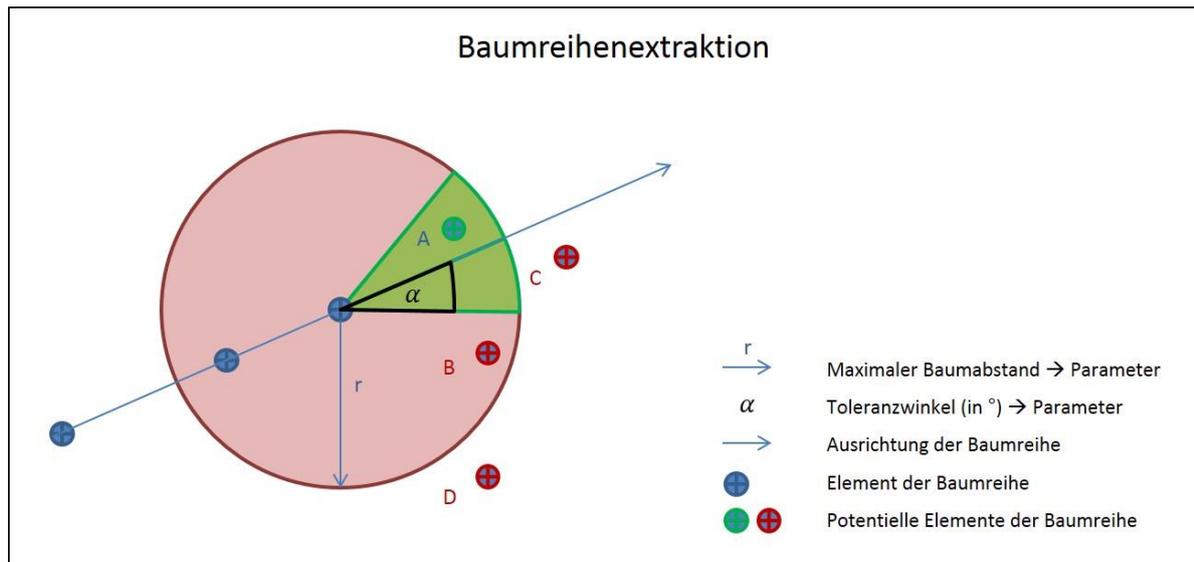


Abbildung 12: Erfassung linearer Strukturen; Erklärung im Text

Potentielle Elemente linienförmiger Strukturen werden über die Kriterien „Entfernung“ und – „Winkelabweichung“ auf Zugehörigkeit geprüft. Die im grünen Kreissegment vorgefundenen Bäume erfüllen die über die Parameter „Abweichungswinkel“ (α) und „maximale Entfernung“ (r) definierten Kriterien. Der Algorithmus prüft jeden Standort solange auf Zugehörigkeit zu einer linearen Struktur (mit einer zu definierenden Mindestanzahl von n Elementen), bis entweder eine gültige Zuordnung gefunden wird oder kein weiterer, ungeprüfter Standort im durch r und α definierten Kreissegment vorgefunden wird.

Die Anwendung der vereinbarten Kriterien zur Bestandsformermittlung erfordert ein iteratives Vorgehen. Anhand der Ergebnisse einer ersten Prüfung der relativen Lage der vom Algorithmus detektierten, linienförmigen Elemente zu benachbarten Flächenbeständen erfolgt ggf. eine Neuzuweisung der Standorte. Da sich im Zuge dessen Umfang und Geometrie flächiger Bestände ändern können, werden diese im nächsten Schritt neu berechnet, wodurch eine erneute Lage- bzw. Distanzprüfung linien- und punktförmiger Bestände erforderlich wird. Die Prüfschleifen werden solange durchlaufen, bis sich die Zahl der zugeordneten Standorte in keiner der drei Bestandsformen mehr ändert. Abbildung 13 zeigt den iterativ durchlaufenen Entscheidungsbaum der auf den Punktdaten durchgeführten regelbasierten Bestandsformanalyse.

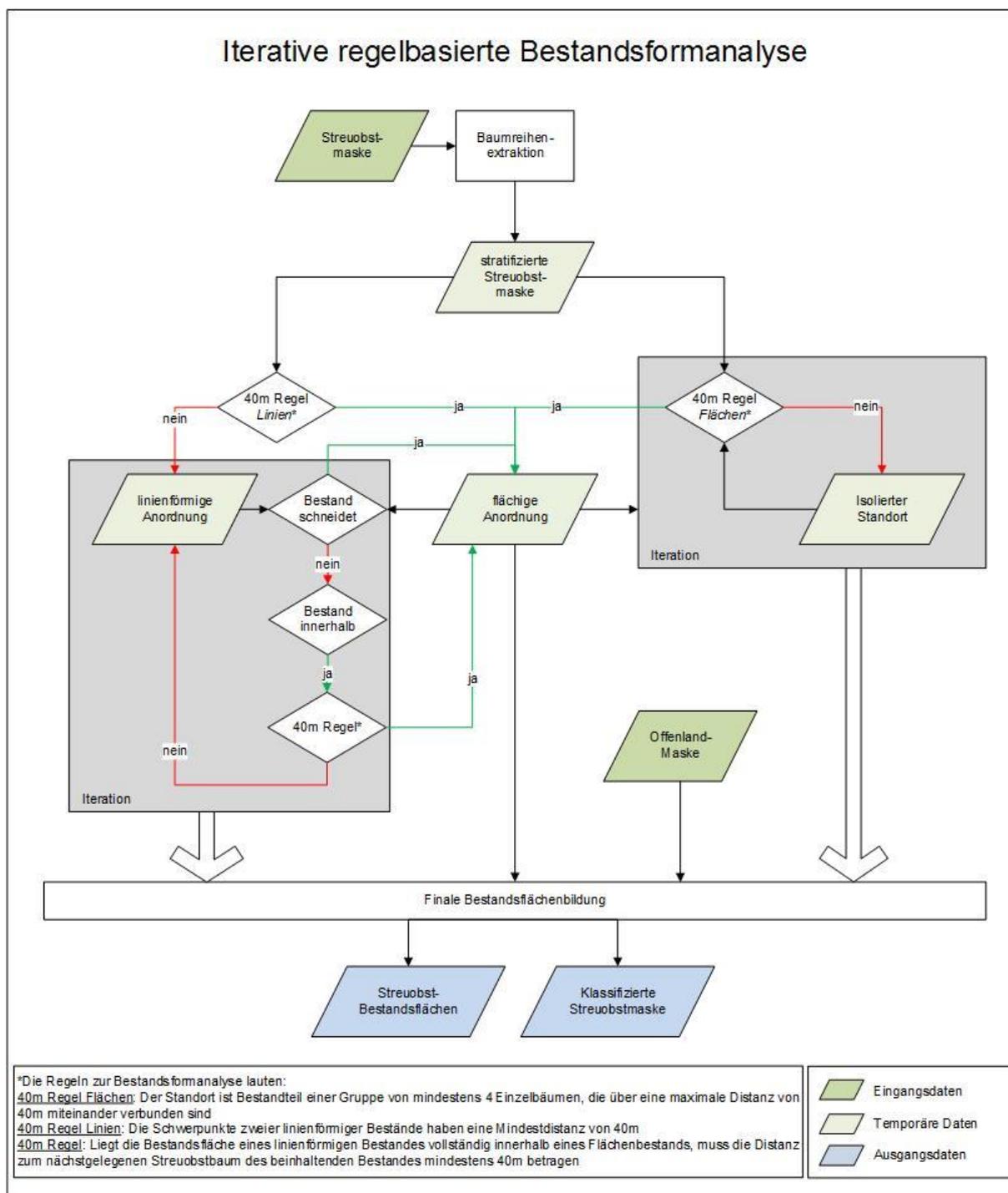


Abbildung 13: iterativ durchlaufener Entscheidungsbaum zur regelbasierten Bestandsformanalyse

Weiterhin wurde bei der Bestandsbildung die Zugehörigkeit der Elemente eines Bestandes zum selben ATKIS®-Basis-DLM geprüft. Damit wird ausgeschlossen, dass die später zu berechnende Bestandsfläche ggf. in Teilen außerhalb der Objektkategorie verortet werden muss.

Die Bestandsflächen selbst wurden im Fall flächenhafter Bestände mittels eines *Convex Hull* Algorithmus berechnet. Die konvexe Hülle ist die kleinstmögliche, sämtliche Standorte beinhaltende Geometrie mit konvexen, d.h. überstumpfen äußeren Winkeln, die durch

Verbinden der außenliegenden Punkte gebildet werden kann (vgl. Abbildung 14).

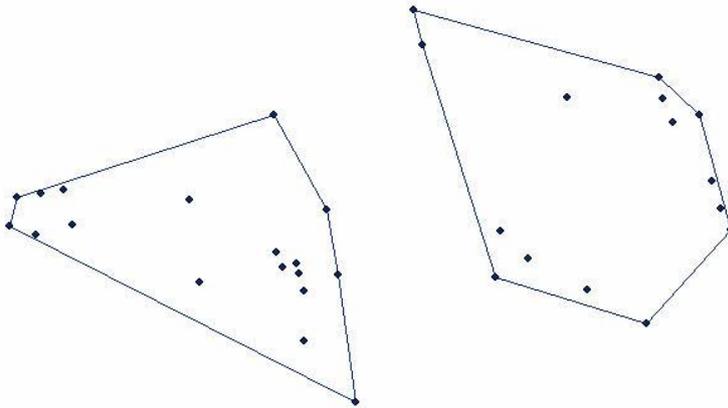


Abbildung 14: Bestandsflächenbildung, Convex Hull Algorithmus

Zur Bildung der finalen Bestandsflächen wurden die Bestandsgeometrien jeweils mit einer 5m breiten Pufferzone versehen. Diese stellen die Basis für die in Kapitel 5 dokumentierte Statistik.

4.5 Validierungskonzept

Zur Bewertung der aus den Laserscan-Daten abgeleiteten Information steht mit den digitalen Orthophotos (DOP) der Landesbefliegung eine unabhängige Referenzdatenquelle zur Verfügung.

Die Größe der Stichprobe n – hier die Zahl der zu bewertenden Streuobststandorte - wurde mittels der folgenden Formel aus der erforderlichen Genauigkeit der Analyse p , dem Konfidenzintervall $\pm E$ und dem Signifikanzlevel berechnet:

$$n = \frac{p^*(1-p)}{(E/z)^2}$$

Formel 1: Formel zur Ermittlung der Größe der Stichprobe (Zahl der zu validierenden Streuobstbäume), Goodchild et al. 1994

Der z -Wert wird üblicherweise statistischen Tabellen (Wahrscheinlichkeiten der Standardnormalverteilung, beidseitig) für einen gegebenen Signifikanzlevel entnommen. Die Stichprobengröße wurde für ein angestrebtes Konfidenzintervall von $\pm 2,5\%$ und einen Signifikanzlevel von 0,05 (Konfidenzlevel: 95%) berechnet. Damit mussten im Zuge der Validierung bei einer vorausgesetzten Zielgenauigkeit von 90% 553 Streuobststandorte bewertet werden.

Um den möglichen Einfluss regional unterschiedlicher Erscheinungsformen von Streuobst auf die Erfassungsgenauigkeit in der Validierung zu berücksichtigen, wurde eine Stratifizierung der Stichprobe über die vier in der Fläche dominierenden Naturräume Nordrhein-Westfalens durchgeführt. Die übrigen Naturräume wurden gemäß Tabelle 4 benachbarten Straten zugeordnet.

Tabelle 4: naturräumliche Stratifizierung zur Stichprobenauswahl

Stratum	Zugeordnete Naturräume (Ssymank 1994)
Weser- u. Weser-Leine-Bergland (östl. Teil)	Dümmer Geestniederung u. Ems-Hunte Geest (östl. Teil) Weser-Aller-Flachland Westhessisches Bergland (zum Teil)
Bergisches Land, Sauerland	Westerwald (östl. Teil) Westhessisches Bergland (zum Teil)
Münsterländische Tieflandsbucht	Dümmer Geestniederung u. Ems-Hunte Geest (westl. Teil) Weser- u. Weser-Leine-Bergland (westl. Teil)
Niederrheinisches Tiefland u. Kölner Bucht	Westerwald (westl. Teil) Mittelrheingebiet (mit Siebengebirge) Eifel (mit Vennvorland)

Als Basis der Validierung wurden im nächsten Schritt zufällig aus jedem Stratum gemäß der erforderlichen Stichprobengröße DOPs in 2x2km Kachelung ausgewählt, die von einem Bildinterpreten in Form einer Referenzkartierung bewertet wurden. Um zu gewährleisten, dass im Zuge der Validierung neben der Bewertung der vom Verfahren ausgewiesenen Standorte ein evtl. vorhandener, regional bedingter Auslassungsfehler abgebildet wird, wurde eine Sub-Stratifizierung der großflächigen naturräumlichen Einheiten nach statistisch ermittelten Häufigkeiten des Streuobstvorkommens auf Basis der Ergebnisse durchgeführt. Jedes DOP erhielt eine Einstufung bezüglich der Streuobstdichte in die Kategorien *häufig*, *durchschnittlich* und *nicht häufig*. Die Grenzen der Kategorien wurden mittels Clusteranalyse aus den für jedes der 8966 DOP berechneten Streuobsthäufigkeiten ermittelt. Da bereits die mittlere Häufigkeit (811 Standorte) der Streuobstvorkommen in einer 2x2km großen DOP-Kachel die errechnete Stichprobengröße übertrifft, wurde für jeden Naturraum aus jeder Kategorie genau ein DOP

ausgewählt. Die Größe der Stichprobe fiel daher mit 9460 Standorten weit größer aus, als der nach Formel 1 errechnete Mindestumfang.

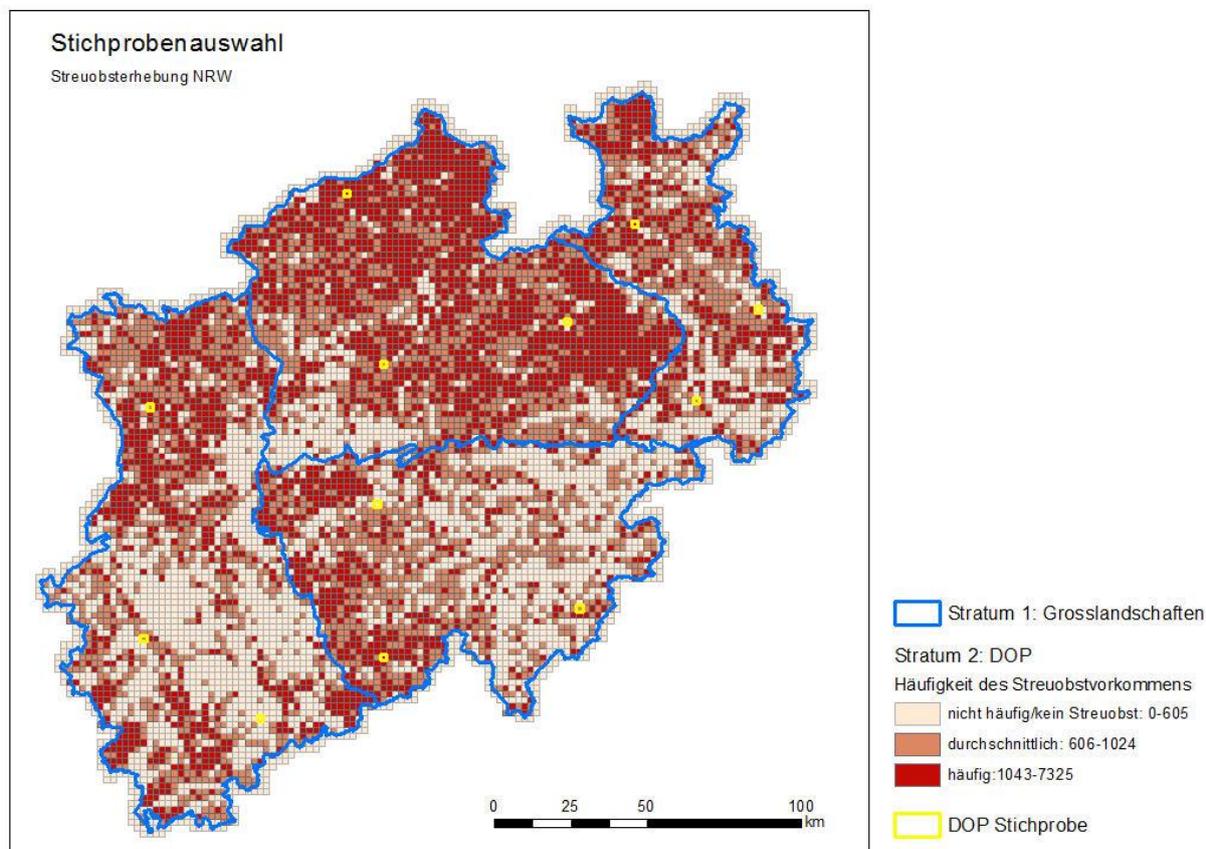


Abbildung 15: geschichtete (stratifizierte) Stichprobe zur Standortvalidierung; Erklärung im Text

Die erreichten Genauigkeiten wurden schließlich über die Ermittlung von Auslassungs- und Überschätzungsfehler anhand der Werte der User's- und Producer's Accuracy für ganz NRW in einer Konfusionsmatrix dokumentiert (siehe Kapitel 5).

5. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

5.1 Statistische Auswertung

Die Datenanalyse der Laserscan-Daten ergab für das Land Nordrhein-Westfalen eine Gesamtzahl von über 7,5 Millionen Streuobstbäumen. Tabelle 5 zeigt die Verteilung der Standorte auf die naturräumlichen Einheiten nach Ssymank (Ssymank 1994).

Tabelle 5: Anzahl der Streuobstbäume in den naturräumlichen Einheiten NRWs

Naturraum	Kennung	Anzahl der Streuobstbäume			
		Flächen	Linien	Punkt	Gesamt

Dümmer Geestniederung u. Ems- Hunte Geest	D30	181.373	49.141	24.764	255.278
Weser-Aller-Flachland	D31	9.160	2.377	2.138	13.675
Münsterländische Tieflandsbucht	D34	1.830.561	477.300	280.839	2.588.700
Niederrheinisches Tiefland u. Kölner Bucht	D35	1.234.375	237.434	160.850	1.632.659
Weser- u. Weser-Leine-Bergland	D36	752.082	176.725	121.615	1.050.422
Bergisches Land, Sauerland	D38	1.089.700	228.523	211.559	1.529.782
Westerwald	D39	23.565	3.765	3.653	30.983
Mittelrheingebiet (mit Siebengebirge)	D44	50.035	5.743	5.229	61.007
Eifel (mit Vennvorland)	D45	270.238	71.504	48.640	390.382
Westhessisches Bergland	D46	11.340	3.043	2.583	16.966
Gesamt NRW		5.452.429	1.255.555	861.870	7.569.854

Aus den Einzelstandorten wurden nach den in Kapitel 4 definierten Vorgaben mehr als eine Million Bestände der Kategorien flächig, linienförmig und punktförmig generiert. Tabelle 6 zeigt die Statistik der aus den Bestandsflächen abgeleiteten Größen.

Tabelle 6: Streuobst-Bestandsformstatistik NRW

Bestandsform	Anzahl Bestände	Bestandsfläche [m ²]/[km ²]	durchschnittliche Bestandsfläche [m ²]
Punkt	534.168	63.836.397 / 63,84	120
Linie	216.396	113.412.358 / 113,41	524
Fläche	303.974	1.343.924.472 / 1.343,92	4421
Gesamt	1.054.538	1.521.173.227 / 1.521,17	1443

Neben den Streuobststandorten wurden für jeden Baum Höhe, Kronendurchmesser, Bestandsform und Größe des Bestands dokumentiert.

Attribut	Beschreibung	Erläuterung
----------	--------------	-------------

Hoehe	Baumhöhe [m]	Wert der größten, im Kronenbereich gemessenen Höhe
Diameter	Kronendurchmesser [m]	arithmetisches Mittel aus Länge und Breite der Krone
Typ	Bestandsform (Kategorien)	Die Zugehörigkeit zu einer der drei Bestandskategorien <i>punktförmig, linienhaft oder flächig</i>
R_Index	Verlässlichkeit („Reliabililty“) der Streuobstklassifikation	Relative Grenze der Krone zu Nachbarbäumen [%] Indikator für Zuverlässigkeit der Bestandsabgrenzung; Wertebereich [0,1]
B_Groesse	Bestands-Größe	Anzahl der dem Bestand zugeordneten Bäume

5.2 Validierung

Die nach der in Kapitel 4 beschriebenen Methode zufällig ausgewählten digitalen Orthophotos wurden nach Abschluss der automatisierten Standorterhebung über die Bezirksregierung Köln bezogen und durch einen Bildinterpreten visuell bezüglich möglicher Streuobststandorte geprüft. Die so entstandene Streuobst-Referenzkartierung wurde im Anschluss mit dem automatisch generierten Ergebnis verglichen. Der Fehler – d.h. die Abweichungen der Ergebnisse beider Standortkartierungen – wurde unter Verwendung aller zur Verfügung stehenden Daten differenziert in 7 Kategorien differenziert erfasst. Auf diese Weise erlaubt das Validierungsergebnis neben der Abschätzung der Genauigkeit der Streuobsterhebung auch Rückschlüsse auf den Einfluss möglicher Fehlerquellen sowie die Abschätzung einer zeitlichen Dynamik im untersuchten Gebiet.

Bei der manuellen Referenzerstellung wurden dieselben Kriterien zur Standortermittlung verwendet, die auch im regelbasierten, automatisierten Verfahren zur Anwendung kamen. So wurden z.B. Streuobstbäume, die im Laserscan eine Höhe kleiner 3m aufweisen auch in der Referenzkartierung nicht erfasst. Allerdings war eine Einstufung im Orthophoto erkennbarer Bäume als Streuobst für eine Vielzahl vorgefundener Standorte nicht eindeutig möglich, da ein großer Teil der DOP sehr früh in der Vegetationsperiode aufgenommen wurde und unbelaubte Kronen zeigt. Zum anderen waren die visuelle Bewertung bei Kronenschluss in flächigen oder linienförmigen Beständen sowie die eindeutige Bewertung von LE-Strukturen oft problematisch. Daher muss davon ausgegangen werden, dass der tatsächliche Kommissionsfehler um Einiges höher liegt, als der durch die Validierung ermittelte Wert.

Umgekehrt kann angenommen werden, dass der Wert der ermittelten Trefferquote sehr verlässlich ist.

Tabelle 7 bis Tabelle 11 zeigen die jeweils ermittelten Genauigkeiten für ganz NRW und die beprobten Naturräume in Form von Konfusionsmatrizen. Mit der Trefferquote - auch als *User's Accuracy* bezeichnet – ist für jeden Naturraum die prozentuale Übereinstimmung der Streuobststandorte in der Referenzkartierung und dem automatisch erzeugtem Ergebnis (Karte) angegeben. Die Überschätzungsrate weist den Prozentsatz der fälschlich im Ergebnis als Streuobst markierten Standorte aus. Die zu 100% fehlenden Prozent entsprechen den im Ergebnis richtig erfassten Standorten, der Wert wird auch als *Producer's Accuracy* bezeichnet.

Darüber hinaus ist für jeden Wert das 95% Konfidenzintervall angegeben. Damit wird ausgesagt, dass die in einer wiederholten Durchführung mit einer analog generierten Stichprobe gemessene Genauigkeit mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% im angegebenen Intervall läge. Das Konfidenzintervall wurde über die Standardnormalverteilung angenähert und kann als Maß für die Zuverlässigkeit der statistischen Aussage betrachtet werden.

Tabelle 7: Validierungsergebnis Nordrhein Westfalen Gesamt

NRW Gesamt		Karte		
Referenz		Streuobst	kein Streuobst	Summe
	Streuobst	5283	612	
kein Streuobst	4177	0	4177	
Summe	9460	612	10072	
Trefferquote	89,62	+/- 0,79%		
Überschätzungsrate	44,15	+/- 1,01%		

Tabelle 8: Validierungsergebnis im Naturraum Bergisches Land

Bergisches Land		Karte		
Referenz		Streuobst	kein Streuobst	Summe
	Streuobst	1373	173	
kein Streuobst	1429	0	1429	
Summe	2802	173	2975	
Trefferquote	88,81	+/- 1,87%		
Überschätzungsrate	51,00	+/- 1,60		

Tabelle 9: Validierungsergebnis im Naturraum Münsterländische Tieflandsbucht

Münsterländische Tieflandsbucht		Karte		
		Streuobst	kein Streuobst	Summe
Referenz	Streuobst	1428	123	1551
	kein Streuobst	871	0	871
	Summe	2299	123	2422
	Trefferquote	92,07	+/- 1,38%	
	Überschätzungsrate	37,89	+/- 2,00%	

Tabelle 10: Validierungsergebnis im Naturraum Niederrheinisches Tiefland und Kölner Bucht

Niederrheinisches Tiefland und Kölner Bucht		Karte		
		Streuobst	kein Streuobst	Summe
Referenz	Streuobst	1193	158	1351
	kein Streuobst	730	0	730
	Summe	1923	158	2081
	Trefferquote	88,30	+/- 1,75	
	Überschätzungsrate	37,96	+/- 2,20	

Tabelle 11: Validierungsergebnis im Naturraum Weser- und Weser-Leine-Bergland

Weser- u. Weser-Leine-Bergland		Karte		
		Streuobst	kein Streuobst	Summe
Referenz	Streuobst	1289	158	1447
	kein Streuobst	1147	0	1147
	Summe	2436	158	2594
	Trefferquote	89,08	+/- 1,64	
	Überschätzungsrate	47,09	+/- 2,00	

Die angestrebte Erfassungsgenauigkeit von 90% konnte für ganz NRW mit 89,6% knapp erreicht werden. Für die einzelnen Naturräume schwankt der Wert geringfügig zwischen 88,3% im Naturraum *Niederrheinisches Tiefland und Kölner Bucht* und 92,07 in der *Münsterländischen Tieflandsbucht*. Deutlicher sind die Unterschiede in der Überschätzungsrate. Während der für ganz NRW gemessene Kommissionsfehler 44,15% beträgt, liegt er für die Naturräume *Münsterländische Tieflandsbucht* und *Niederrheinisches*

Tiefeland und Kölner Bucht bei nur je etwa 38%. Dagegen muss im Naturraum *Bergisches Land* sowie im *Weser- und Weser-Leine-Bergland* von einer Überschätzung um etwa 51 bzw. 47% ausgegangen werden.

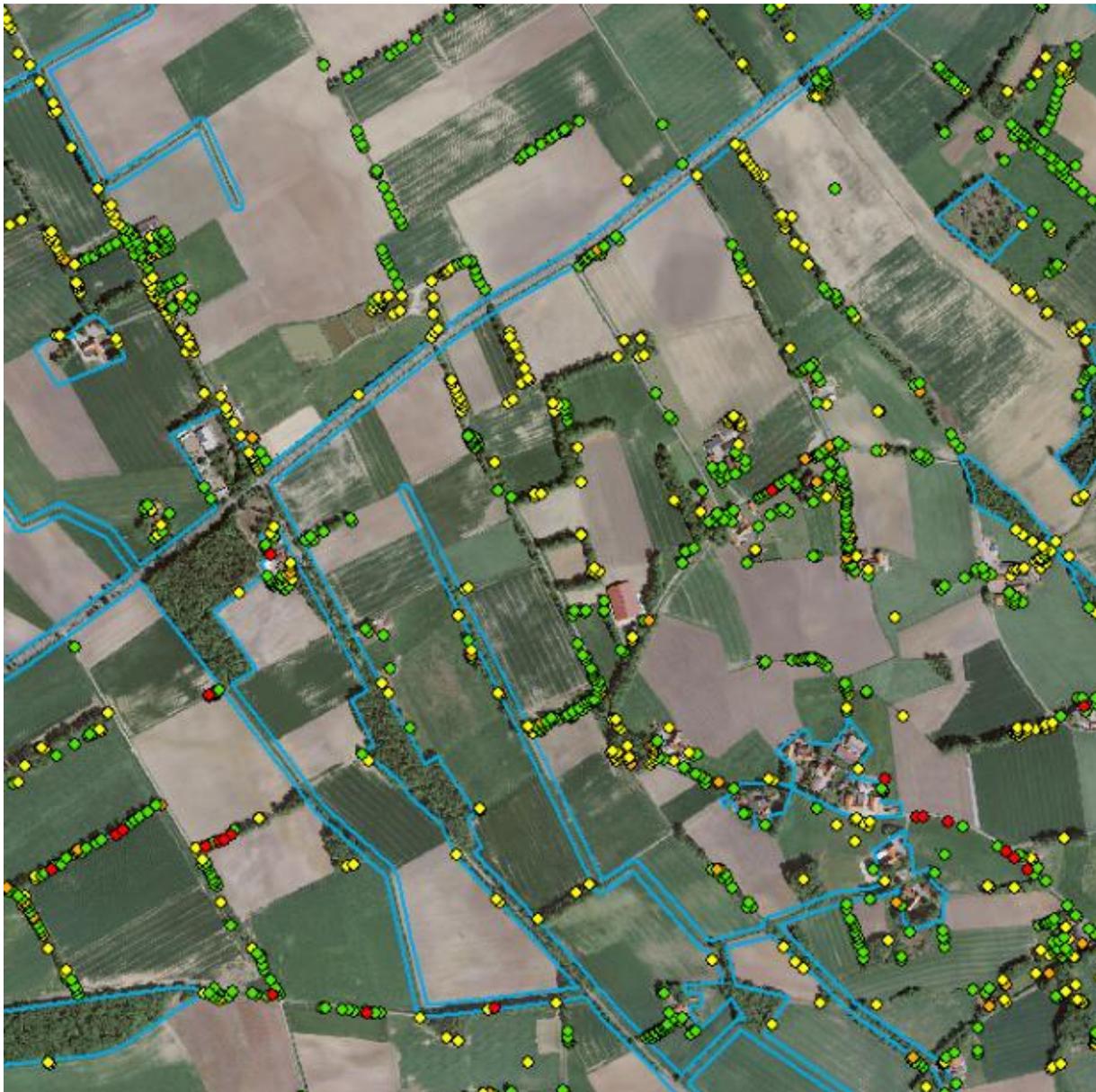
Zusätzlich wurde das Ergebnis hinsichtlich der Ursachen für Fehlklassifikationen untersucht. So wurden Auslassungs- und Überschätzungsfehler nach den in Tabelle 12 gelisteten Kategorien erfasst.

Tabelle 12: Erfassungskategorien der Kartierfehler durch visuelle Interpretation

Typ	Fehlertyp	Häufigkeit
Auslassungsfehler: 612	im Laserscan kein Streuobst mehr vorgefunden (DOP älteren Datums)	16% (96)
	Streuobst im Luftbild erkennbar aber im Laserscan nicht identifizierbar (geringer Kronenumfang oder weniger als 4 Returns)	13% (78)
	Sonstiges (z.B. fehlerhafte Standortanalyse)	71% (438)
Überschätzungsfehler: 4177	Im DOP kein Streuobst mehr vorhanden (DOP aktueller)	5% (215)
	Baum ist Bestandteil eines Landschaftselements (im Randbereich oder fehlender Maskierung) oder liegt am Waldrand	72% (2987)
	Irrtümliche Erfassung 3 dimensionaler Nicht-Vegetation (v.a. Gebäude)	21% (894)
	Bei dem erfassten Baum handelt es sich nicht um Streuobst	2% (81)

Die Werte zeigen eine deutliche Häufung des Kommissionsfehlers im Bereich von Landschaftselementen (LE). Abbildung 16 gibt eine Übersicht über das Validierungsergebnis in einem 2x2km großen Ausschnitt im Naturraum *Bergisches Land*. Die Dominanz dieses

Kommissionsfehlertyp im Bereich der Landschaftselemente ist deutlich an der räumlichen Verteilung der betroffenen Standorte erkennbar.



Stichprobe

- Treffer
- Kommissionsfehler
- Omissionsfehler
- keine Bewertung möglich
- Kachel Stichprobe 3790_5786
- Offenland

Abbildung 16: Übersicht über das Ergebnis einer Validierungskachel aus dem Naturraum Bergisches Land; die den Kommissionsfehler dominierende Ursache „Standort ist Teil eines Landschaftselements“ ist deutlich an der räumlichen Verteilung erkennbar (gelbe Punkte)

Bilddatenquelle: Geobasisdaten der Kommunen und des Landes NRW (c) Geobasis NRW, 2014

Einerseits wurden am Rand liegende Baum-standorte im Zuge der LE-Klassifikation häufig nicht dem ggf. korrekt erkannten LE zugeordnet sondern fälschlich als Streuobststandort erfasst. Zum anderen wurde in Einzelfällen die LE-Struktur nicht als solche erkannt und als Streuobst fehlinterpretiert. An dieser Tatsache zeigt sich jedoch weniger ein Mangel an der Methode sondern vielmehr die durch die gegebene Datengenauigkeit und die Inhomogenität der untersuchten Phänomene bedingten Grenzen der Anwendung.

Die Auswertung zeigt weiterhin, dass die Ursache des Kommissionsfehlers in 5% der Fälle nicht vermeidbar war, da die Laserscan-Aufnahme einen älteren Zeitpunkt abbildet. So waren 215 der im Laserscan vermutlich richtig detektierten Standorte zum Zeitpunkt der DOP-Aufnahme nicht mehr vorhanden. Dies macht etwa 3,6% der im ganzen untersuchten Gebiet kartierten Streuobstbäume aus. Umgekehrt bildet sich die zeitliche Dynamik auch im Auslassungsfehler ab. In 96 Fällen war die Laserscan-Aufnahme jünger und zeigte für im DOP erkennbare Standorte keine Information. Auch konnten 78 Streuobstbäume, die in der visuellen Interpretation im DOP identifiziert wurden wegen der unzureichenden Sichtbarkeit im Laserscan (d.h. durch weniger als 4 Returns charakterisiert oder mit einem Kronenumfang $<1\text{m}^2$) nicht erkannt werden. Für 71% der Auslassung und damit den überwiegenden Teil der Omission liegt eine andere Fehlerquelle zugrunde. Betroffen sind etwa 6% der gesamten Streuobststandorte im Untersuchungsgebiet.

In einer weiterführenden Analyse wurde die Abhängigkeit des Kommissionsfehlers von attributiv erfassten Dateneigenschaften untersucht. Hierbei wurde ein Zusammenhang zwischen Überschätzung und dem gemessenen Kronendurchmesser gefunden. ASBB xxx stellt die Häufigkeit gemessener Werte für korrekt kartierte Standorte (grün) der in fehlerhaft extrahierten Standorten ermittelten Kronendurchmessern gegenüber. Wie zu erwarten ist der Kommissionsfehler für Objekte mit kleinen Kronendurchmessern, d.h. mit geringerer räumlicher Ausdehnung höher als für Objekte größeren Umfangs, da letztere in der Regel durch eine größere Menge an Messwerten in den Daten repräsentiert sind und damit leichter erkannt werden können.

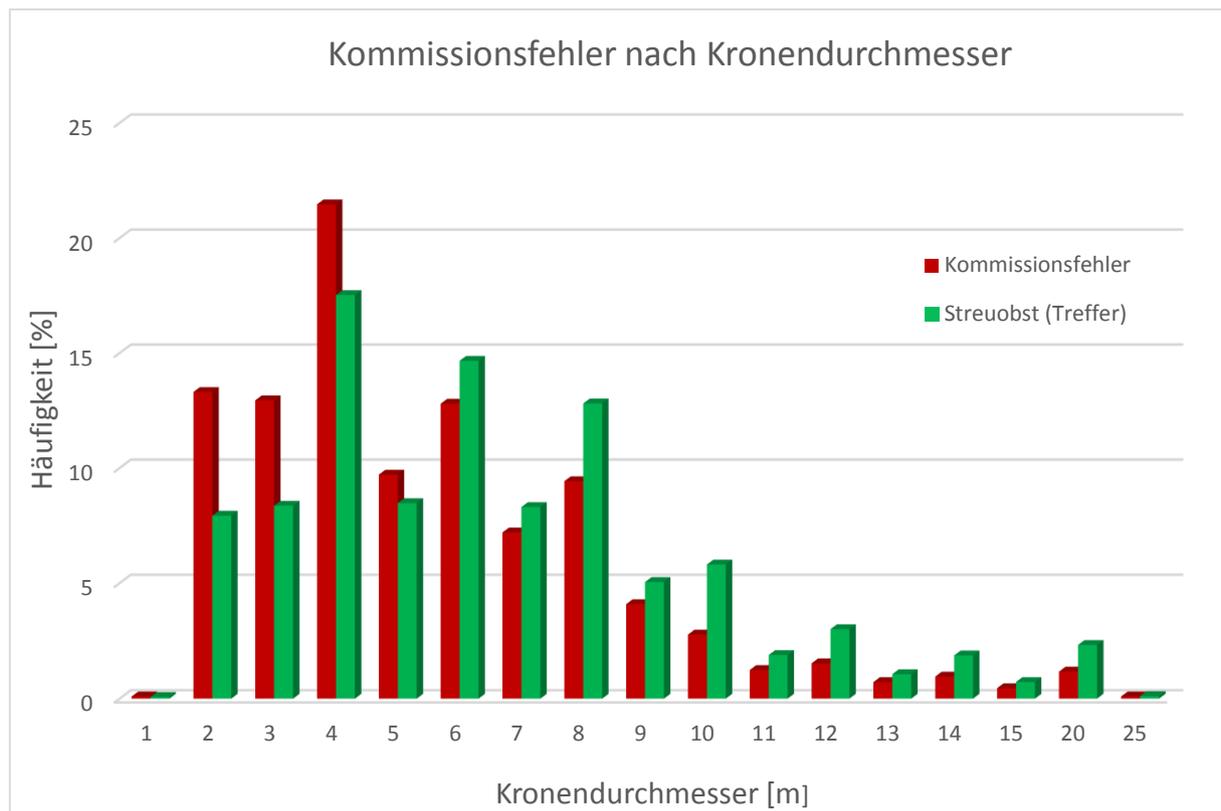


Abbildung 17: graphischer Darstellung des Kommissionsfehlers nach der Häufigkeit des gemessenen Durchmessers

Eine weitere systematische Fehlerquelle konnte im Zuge der Validierung in der Erfassung von Überland-Stromleitungen identifiziert werden. Abbildung 18 zeigt das Validierungsergebnis im Bereich von fehlerhaft extrahierten Überlandleitungen. Die Gefahr einer solchen Fehlinterpretation der Daten wurde bereits im Vorfeld der operationellen Bearbeitung erkannt (vgl. Kapitel 4, Abbildung 8). Auch hier reicht die in den Daten enthaltene Information nicht zur Objekterkennung aus. Zwar konnte durch das regelbasierte Verfahren für Teilbereiche basierend auf einer Erkennung der Masten und Analyse der Höhen die Fehlerfassung eingeschränkt werden. Wegen der hohen angestrebten Genauigkeit wurden auffällige Strukturen im automatisierten Prozess jedoch nur sehr vorsichtig entfernt. Abbildung 18 zeigt das Ergebnis für ein DOP der validierten Stichprobe. Die im normierten Oberflächenmodell leicht erkennbare Struktur der Überlandleitungen ist im DOP an den durch gelbe Punkte dargestellten Standorten nachgezeichnet.



Abbildung 18: validierte Stichprobe im Bereich einer Überland-Stromleitung; fehlerhaft erfasste Standorte im DOP (links) und Darstellung der Höhen im normierten Oberflächenmodell (rechts)

Bilddatenquelle: Geobasisdaten der Kommunen und des Landes NRW (c) Geobasis NRW, 2014

Da sich der Fehler durch Einbinden entsprechender Zusatzinformation sehr genau lokalisieren lässt besteht für diese Fälle die Möglichkeit einer sehr einfachen und effektiven Fehlerkorrektur (vgl. auch Kapitel 8).

6. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Mit der vorliegenden landesweiten Streuobsterhebung steht nun erstmals seit der letzten Inventarisierung im Jahr 1965 eine aktuelle Datenbasis zur quantitativen Abschätzung der Streuobstvorkommen in NRW zur Verfügung.

Wegen des sehr geringen Auslassungsfehlers bieten die Daten eine optimale Ausgangsbasis zum Monitoring der zeitlichen Dynamik mittels zukünftig verfügbarer Fernerkundungsdaten. Durch die Prozessierung wurden die Streuobstbestände des Landes NRW nahezu vollständig inventarisiert und können über ein geographisches Informationssystem dargestellt, bearbeitet und aktualisiert werden.

Die darüber hinaus erhobenen Informationen zur Verteilung des Streuobstes auf die Bestandsformen *punktförmig*, *linienförmig* und *flächig* stellt eine Momentaufnahme dar, die unter Umständen nur sehr kurze Gültigkeit hat. So kann jede der drei Bestandsformen durch Entfernen bzw. Hinzufügen eines einzigen Standorts in eine der beiden jeweils anderen Formen übergehen. Da die Berechnung automatisiert durchgeführt werden kann und keinen manuellen Input erfordert, kann diese Information jedoch sehr effektiv und kostengünstig aktualisiert werden.

7. Zusammenfassung

In den Jahren 2006 bis 2011 wurden für die gesamte Landesfläche Nordrhein-Westfalens Laserscan-Befliegungen durchgeführt. Aufbauend auf den Erfahrungen der landesweiten Streuobsterhebung in Baden-Württemberg sollte mittels der als dreidimensionalen Punktwolken vorliegenden Daten eine Neu-Inventarisierung der Streuobstbestände für ganz Nordrhein-Westfalen durchgeführt werden. Ziel des Projekts war die Identifizierung und Abgrenzung aller einzeln stehenden Streuobstbäume in einem automatisierten Verfahren, darüber hinaus eine quantitative Analyse zu den extrahierten Standorten innerhalb der naturräumlichen Haupteinheiten und die räumliche Charakterisierung der vorgefundenen Bestände hinsichtlich ihrer Struktur. Zur Bearbeitung stand bereits ein fernerkundliches Regelwerk zur Streuobstextraktion zur Verfügung, welches im Rahmen einer kleinräumigen, ergebnisorientierten methodischen Untersuchung modifiziert und erweitert wurde.

Die Standortabgrenzung erfolgte durch eine sequentielle Ausführung von Watershed-Algorithmen. Die weitere Datenanalyse wurde im objektorientierten Verfahren mittels eines regelbasierten Workflows durchgeführt. Neben den Informationen zu Standort und Bestandsstruktur wurden für jeden extrahierten Einzelbaum aus den Laserscan-Punktwolken Höhe und Kronendurchmesser bestimmt.

Bei der Auswertung der Daten wurden etwa 7,5 Millionen Standorte in mehr als einer Million Beständen erfasst. Die Bestände wurden über einen hierfür im Rahmen des Projekts entwickelten Algorithmus hinsichtlich ihrer Struktur untersucht und in einem iterativen Prozess den drei Bestandstypen *punktförmig*, *linienförmig* und *flächig* zugeordnet.

Das Ergebnis wurde anhand einer stratifizierten Zufallsstichprobe unter Verwendung digitaler Orthophotos aus den Landesbefliegungen 2009-2012 validiert. Auf Basis von etwa 10.000 bewerteten Standorten wurde eine Erfassungsgenauigkeit von 89,6% ermittelt. Dies entspricht

exakt den im Vorfeld definierten Anforderungen. Dem steht eine Überschätzungsrate von 44% gegenüber. Wegen der in Kapitel 5 nachgewiesenen Systematik einzelner Fehlerquellen kann bei Verfügbarkeit entsprechender thematischer Zusatzdaten auf sehr einfachem Wege eine deutliche Optimierung durch Filterung bzw. Maskierung durchgeführt werden.

8. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen & Empfehlungen für die Datenprozessierung

Ziel des Projekts war die operationelle Ermittlung der Standorte aller frei stehenden Streuobstbäume in Nordrhein-Westfalen. Anhand des Vergleichs der Ergebnisse einer Testbearbeitung mit einer kleinräumig durch Feldbegehung erstellten Referenzkartierung wurde das zum Teil einer Vorstudie entstammende fernerkundliche Regelwerk zur Standortbestimmung derart überarbeitet, dass eine Erfassungsgenauigkeit von 90% erreicht wurde. Dies entspricht den Ansprüchen des Auftraggebers an die Trefferquote. Die Ergebnisse der Validierung auf Luftbildern legen das Erreichen der angestrebten Quote nahe. Allerdings geht die für ein automatisiertes Verfahren hohe Erfassungsgenauigkeit mit einer hohen Überschätzungsrate einher. Dieser Umstand zeichnete sich bereits im Rahmen der Testumsetzung ab.

Durch differenzierte Dokumentation des Kommissionsfehlers im Rahmen der Validierung konnte gezeigt werden, dass eine Überschätzung der Streuobstvorkommen gehäuft im Kontext von Landschaftselementen oder an Waldrändern auftritt. Zudem kann die mit den Standortinformationen ermittelte Eigenschaft *Kronenumfang* einen Hinweis auf die Zuverlässigkeit der Standortermittlung geben. Anhand dieser Information kann bei Verfügbarkeit geeigneter Daten eine gezielte Optimierung des Ergebnisses erreicht werden:

So bietet sich eine Neubewertung der Standorte in unmittelbarer Umgebung von Flächen der ATKIS®-Basis-DLM Objektkategorie Wald im Übergangsbereich zum untersuchten Offenland an. Auch werden im Kontext der Subventionierung in der Landwirtschaft Datenerhebungen zu beihilfefähigen Flächen auf landwirtschaftlichen Referenzparzellen durchgeführt. Mittels dieser Information könnte analog eine deutliche Senkung der Überschätzungsrate erzielt werden. Als dritte systematische Fehlerquelle wurde die irrtümliche Erfassung von Überlandstromleitungen identifiziert. Bei Verfügbarkeit von Informationen zu Verlauf bzw. Position von Masten sollte eine sehr einfache und wenig fehleranfällige Filterung

des Ergebnisses durch Auswertung der für jeden potentiell betroffenen Standort ermittelten Höhe möglich sein.

Literaturverzeichnis

BMU (Hrsg.) 2007: Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt, Berlin, Broschüre

BMELV (Hrsg.) 2012: Nationales Fachprogramm zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung pflanzengenetischer Ressourcen landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Kulturpflanzen, Berlin, Broschüre

BMELV (Hrsg.) 2007: Agrobiodiversität erhalten, Potentiale der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft erschließen und nachhaltig nutzen, Berlin, Broschüre

Goodchild, M.F., Biging, G.S., Congalton, R.G., Langley, P.G., Chrisman, N.R., Davis, F.W., 1994: Final Report of the Accuracy Assessment Task Force, California Assembly Bill AB1580, National Center for Geographic Information and Analysis, UCSB

Küpfer, C., J. Balko 2010: Streuobstwiesen in Baden-Württemberg - Wieviele Obstbäume wachsen im Land und in welchem Zustand sind sie? Horizonte 35: 38-41

Reitberger, J., Krzystek, P., Stilla U. 2009: Möglichkeiten von First/Last Pulse und Full Waveform Laserscanning zur 3D Kartierung von Wäldern. DGPF Tagung, Jena, 24.- 26. März 2009

Schmieder, K.; C. Küpfer 2010: Landesweite Streuobsterhebung in Baden-Württemberg. Landinfo 2/2010, 7-12

Ssyman, A. 1994: Neue Anforderungen im europäischen Naturschutz. Das Schutzgebietssystem NATURA 2000 und die „FFH-Richtlinie“ der EU. – Natur und Landschaft 69, S. 395-406