



landconsult.de
Dr. Markus Weidenbach
Spannstattstrasse 40
D 77773 Schenkenzell
Germany

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

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

Stand: 01/2008

Automatisierte Bestandesvermessung mit Hilfe von digitalen Farbinfrarotbildern und Laser Scanning Höhenmodellen.

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

Überblick:

Vom Flugzeug aus werden alle morphologischen Details des Waldbodens und der Kronenoberfläche durch eine dreidimensionale Laserpunktwolke und digitale Farbinfrarotbilder (auch Satellitenbilder sind hier einsetzbar) erfasst und durch den Computer automatisch vermessen, wie z.B. die Baumhöhe, die Kronenform, horizontale und vertikale Bestandesstrukturen, sowie Wege, Rückegassen oder Geländebrüche etc.. Auf dieser Grundlage lassen sich alle Einzelbäume nach Baumhöhe und Baumartengruppe und alle Bestände sowie das gesamte Wegenetz (einschließlich Rücke- und Pflegegassen) nach Hangneigung, Exposition und Steigung klassifizieren und als GIS Datei abspeichern. Im Gegensatz zu herkömmlichen Methoden der Forsteinrichtung werden bei diesem Verfahren Baumhöhe und Kronenfläche aller herrschenden und mitherrschenden Bäume eines Bestandes mit einer Genauigkeit vermessen, die mit terrestrischen Methoden nicht erreicht werden kann. Die so vom Laser erfassten Werte dienen zur Herleitung einer Fülle forstlicher Parameter auf Bestandes bzw. Einzelbaum Ebene.

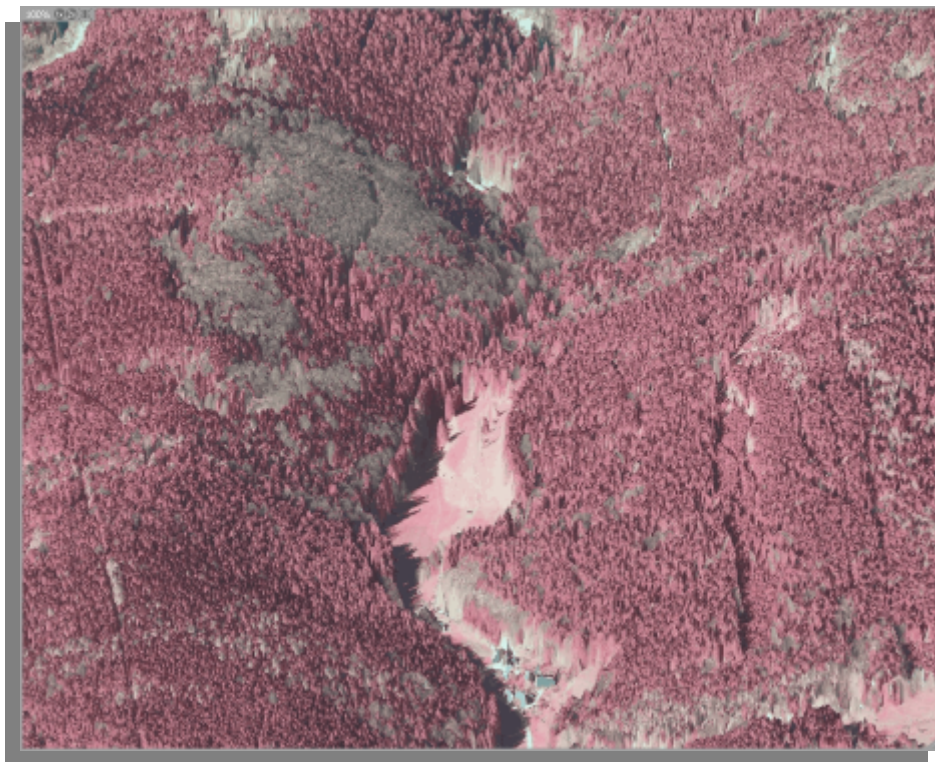


Abb.: Die Überlagerung eines digitalen Farbinfrarotbildes über die Laserdaten erzeugt ein messbares, dreidimensionales Waldmodell. Nadelholz zeichnet sich in dem Ende April aufgenommenen CIR Luftbild rot ab, Laubholz erscheint grau.

Grundlagen eines langfristigen Monitoringsystems:

Die standardisierte Auswertung der Daten ermöglicht einen direkten Vergleich mit Laser Scanner und Bilddaten später stattfindender Befliegungen. Die georeferenzierten Ergebnisse bilden somit die beste Grundlage für ein langfristiges Monitoringsystem das sowohl für reine Forstwirtschaftliche Zwecke als auch für Naturschutzaufgaben bestens geeignet ist. Durch die Kombination mit aktuellen und schnell verfügbaren Radar- und Satellitenbilddaten entsteht ein kostengünstiges System, das innerhalb kürzester Zeit die Aktualisierung bestehender Landoberflächeninformation ermöglicht. Zu diesem Zweck eignen sich z.B. Radardaten (TerraSAR oder ALOS) die Wetter unabhängig genaue Daten der Waldoberfläche liefern, oder Quickbird Infrarot Satellitenbilder, die mit einer Bodenauflösung von 60 cm im panchromatischen Kanal der Qualität von Luftbildern nahe kommen und je nach Bewaldungsprozent und Aktualität der Bilder mit Kosten zwischen 12 - 30 Cent/ha eine kostengünstige Alternative zum Luftbild darstellen. RapidEye ist ein weiteres interessantes System, deren 5 Satelliten zur ständigen Überwachung der Landnutzung Mitte 2008 starten werden und zum ersten Mal die Möglichkeit eröffnen den jährlichen Vegetationsverlauf in sehr kurzen Intervallen zu dokumentieren.

Vielfältige Einsatzmöglichkeiten:

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

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

Verfahrens- und Leistungsbeschreibung

Die Experten von landConsult beschäftigen sich seit mehreren Jahren mit der automatischen Auswertung digitaler Luft- und Satellitenbildern von Waldbeständen sowie auch von urbanen Strukturen. Die klassischen Methoden der Bildverarbeitung haben durch das neue Verfahren des Airborne Laser Scannings (ALS) eine wichtige Erweiterung erfahren.

Zur automatischen Erkennung von Baumkronen hat landConsult ein Algorithmus entwickelt, der auf Grundlage von hochaufgelösten Satellitenbildern wie Quickbird oder Ikonos und Luftbildern von digitalen Kamerasysteme wie z.B. Vexcel UltraCam oder Hasselblad DigiCam, Bildinformationen des Nahen Infrarots auswertet. Die Programm Routine erzeugt eine GIS Datei im shape Format mit den automatisch erfassten Baumkronen, sowie der dazugehörigen Baumhöhe.

Die Höheninformation wird i.d.R. über Laserdaten (LiDAR) gewonnen, sofern ein Laserscanner mit an Bord des Flugzeuges geflogen wurde. Alternativ können die Baumhöhen aus den digitalen Luftbildern dank derer großen Überlappungsbereiche (multi.overlap) auch photogrammetrisch erzeugt werden mit einer dem Laserverfahren vergleichbaren Auflösung und Genauigkeit.

Anhand der aus den Höhendaten erzeugten Gelände- und Kronenmodelle lassen sich alle sichtbaren Objekte (Einzelbäume, Wege, Geländekanten, etc.) automatisch vermessen, wie

z.B. die mittlere Höhe der einhundert oder zweihundert höchsten Bäume eines Bestandes. Aus diesem Messwert kann anschließend der Bestandesvorrat z.B. mit Hilfe des Bestandesalters über die Ertragstafel ermittelt werden.

Gleichzeitig kann über die Beziehungen zwischen der Baumhöhe, der Kronenfläche und der Baumzahl je ha auch auf das Einzelbaumvolumen geschlossen werden und damit ohne Kenntnis des Baumalters auch auf den Gesamtvorrat. Die automatische Trennung der Baumarten wird durch eine kombinierte Auswertung der Laser- und Bilddaten erreicht.

Dank der ständigen Weiterentwicklung des Verfahrens durch landConsult und unsere Partner ProGea in Krakow und FELIS an der Universität Freiburg, sowie aufgrund der kurzfristig zu erwartenden Verbesserung der Grundlagendaten (höhere Laserpunktdichten, Full Wave Laser, True-Orthophotos mit größerer Farbtiefe) werden sich zukünftig weitere neue Möglichkeiten für eine Praxis relevante Datenauswertung ergeben.

Unser Leistungsspektrum:

- Geographische Erfassung (x/y/z-Koordinaten) aller im Laser/Spektralbild sichtbaren Einzelbäume und Trennung von Laub- und Nadelholz (je nach Datengrundlage ist eine differenziertere Baumartentrennung möglich).
- Berechnung der Einzelbaumhöhen und differenzierte Darstellung der Bäume nach Höhe, Standraum und Baumartengruppe im GIS (z.B. Karte der Überhälter oder Lage der für die Höhenbonitierung verwendeten Bäume im Bestand, etc.).
- Bestimmung des Laubholz-/Nadelholz Anteils, des Überschirmungsgrades und des Flächenanteils der Blößen.
- Berechnung der Bestandesmittel und -oberhöhe als mittlere Höhe der 100/200 oder 20% höchsten Bäume je ha und Bestand. Berechnung von Höhenvarianz, -maximum und -minimum.
- Oberhöhenbonitierung und Ableitung des stehenden Holzvorrats über die mittlere Bestandesoberhöhe, das Bestandesalter und die Ertragstafeln oder Alters unabhängig über die Abschätzung der Einzelbaumvolumen.
- Ausscheidung von Waldteilen homogener Struktur bezüglich Bestandesdichte, Bestandeshöhe, Baumart und vertikaler Struktur. Halbautomatische Bestandsabgrenzung.
- Einzelbaum- oder Bestandesweise Zuwachsberechnung zwischen zwei oder mehreren Befliegungszeiträumen.
- Waldmonitoring und Zustandserfassung "on Demand" für eine umgehende Kartierung von Sturm-, Käfer- und Feuerflächen anhand von Satellitenbildern.
- Bestandesweise Darstellung der Hangneigung, der Exposition, der potentiellen Bodenfeuchte und von Wasserabflussrinnen.
- Erfassung von Fahr-/Maschinenwegen und Pflegestrassen, klassifiziert nach Steigungsklassen und -richtung. Optimierung der Einschlagplanung durch Festlegung von Rückescheiden.
- Darstellung der Ergebnisse mit Luftbildkarte und im eigenen GIS. Falls erwünscht mit autorisiertem Zugang in Web Mapping Systemen übers Internet (GIS MapServer).

Vergleichender Kostenrahmen:

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

Die kostengünstigste Variante ergibt sich durch die Verwendung bereits existierender Laserdaten. Für Inventuren in Baden-Württemberg können bspw. die 2005 aufgenommenen Laserdaten des Landesvermessungsamtes zur bestandesweisen Ermittlung des Holzvorrates und zur automatischen Vermessung der Wege eingesetzt werden. Die Kosten liegen in diesem Falle bei einem Bruchteil der Kosten einer permanenten Stichprobeninventur und sind auch noch deutlich günstiger als die vereinfachte modifizierte 6-Baum Stichprobeninventur. Dabei liefert das Laser Scanning Verfahren im Gegensatz zu den Stichprobenverfahren genau vermessene Informationen zu den einzelnen Beständen und repräsentiert damit nicht nur den Gesamtbetrieb sondern eben auch einzelne Bestandestypen. Zur Verbesserung der Ergebnisse können die Daten auf Wunsch mit aktuellen Quickbird oder Ikonos Satellitenbilddatenauswertungen ergänzt werden.

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

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

Anhang: Abbildungen zu den Bild- und Laser gestützten Verfahren

Beispiel 1: Einzelbaumerkennung aus dem Satelliten- oder Luftbild



Abb. 1.1:

Vom Satelliten Quickbird aufgenommenes Infrarotbild eines bewaldeten Gebietes mit einer Bodenauflösung von ca. 60 cm im PAN. Die Preise für Quickbird Satellitenbilder liegen je nach Bewaldungsprozent und Aktualität der Aufnahme zwischen 12 und 30 Eurocent/ha (Stand 2006).

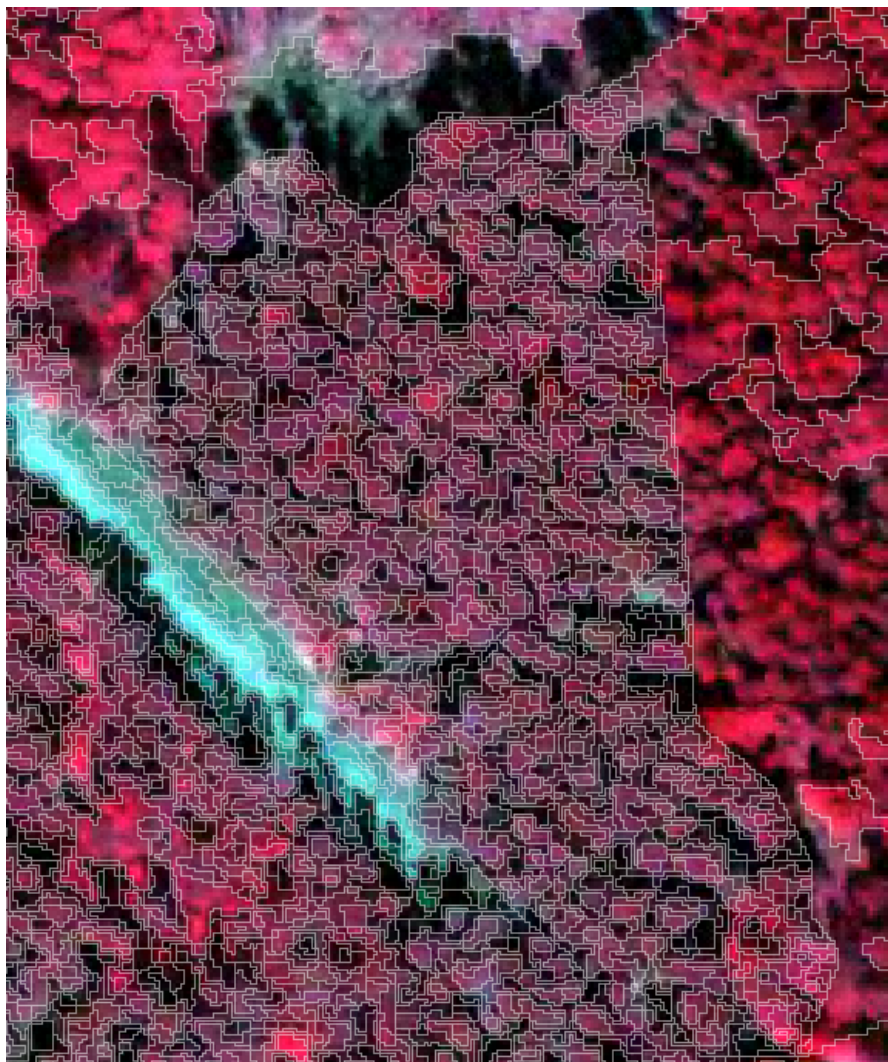


Abb. 1.2:

Automatische Einzelbaumerkennung auf Quickbird Satellitenbildern mittels Objekt basierter Kronensegmentierung (OBIA) im Definiens Developer

Bäume zählen aus dem Weltall

Automatische Einzelbaumerkennung im Quickbird Satellitenbild mit Object Based Image Analysis Methoden (OBIA) und der Definiens Developer Software

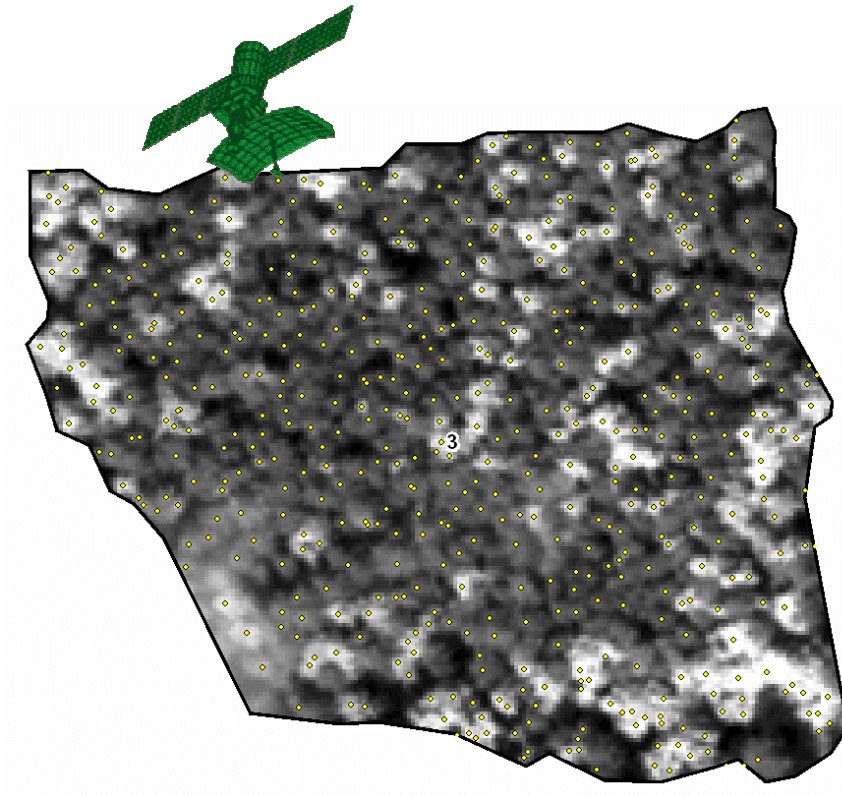


Abb. 1.3
Kiefer / Eichen
Mischbestand: Die gelben Punkte bezeichnen die vom OBIA Algorithmus automatisch erkannten Bäume.
Erkennungsrate: **92%** aller terrestrisch gezählten Einzelbäume wurden automatisch erfasst.
© landConsult.de, ProGea

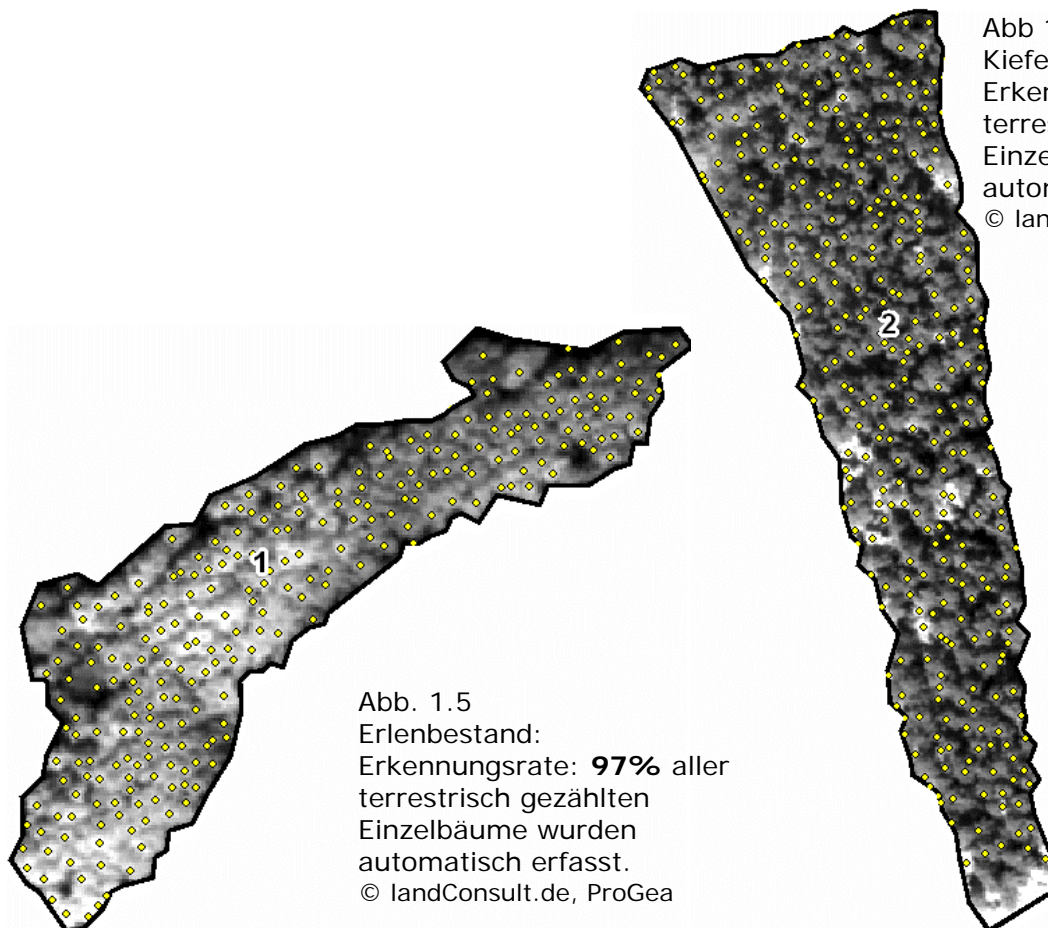


Abb. 1.5
Erlenbestand:
Erkennungsrate: **97%** aller terrestrisch gezählten Einzelbäume wurden automatisch erfasst.
© landConsult.de, ProGea

Abb 1.4
Kieferbestand:
Erkennungsrate: **95%** aller terrestrisch gezählten Einzelbäume wurden automatisch erfasst.
© landConsult.de, ProGea

Automatische Einzelbaumerkennung im digitalen CIR Luftbild (OBIA, Definiens Developer)



Abb. 1.6

Farbinfrarot Luftbild (Vexcel UltraCam mit 90 Megapixel) eines Waldbestandes. Ein mit der Software e.cognition entwickelter Algorithmus erkennt die Baumkronen und Baumspitzen automatisch, im Bild sind die erkannten Baumspitzen mit weißen Punkten markiert.
© landConsult.de.

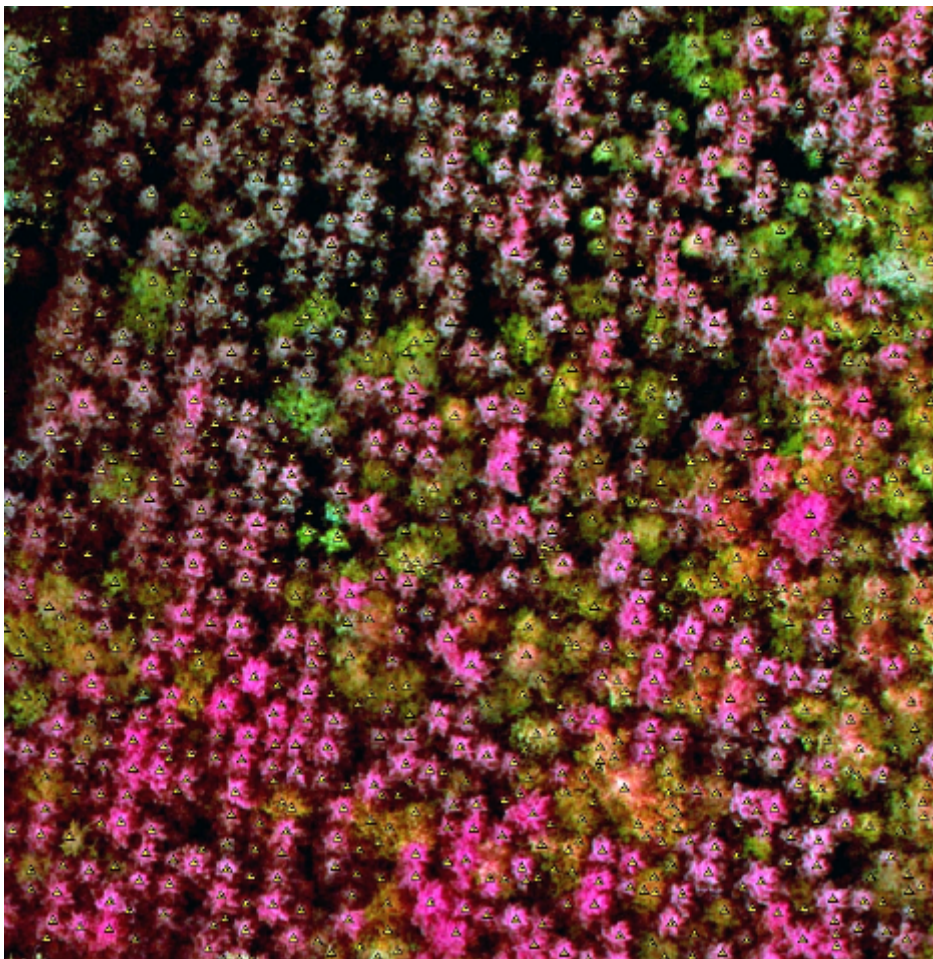


Abb. 1.7

Farbinfrarot Luftbild (Hasselblad DigiCam mit 22 Megapixel, Aufnahmezeitpunkt im November) eines Waldbestandes. Die automatisch im Bild erkannten Baumspitzen sind mit gelben Dreiecken markiert.
© landConsult.de und Hansa Luftbild.

Beispiel 2: Auswertung von LiDAR und Farbinfrarot Luftbilder

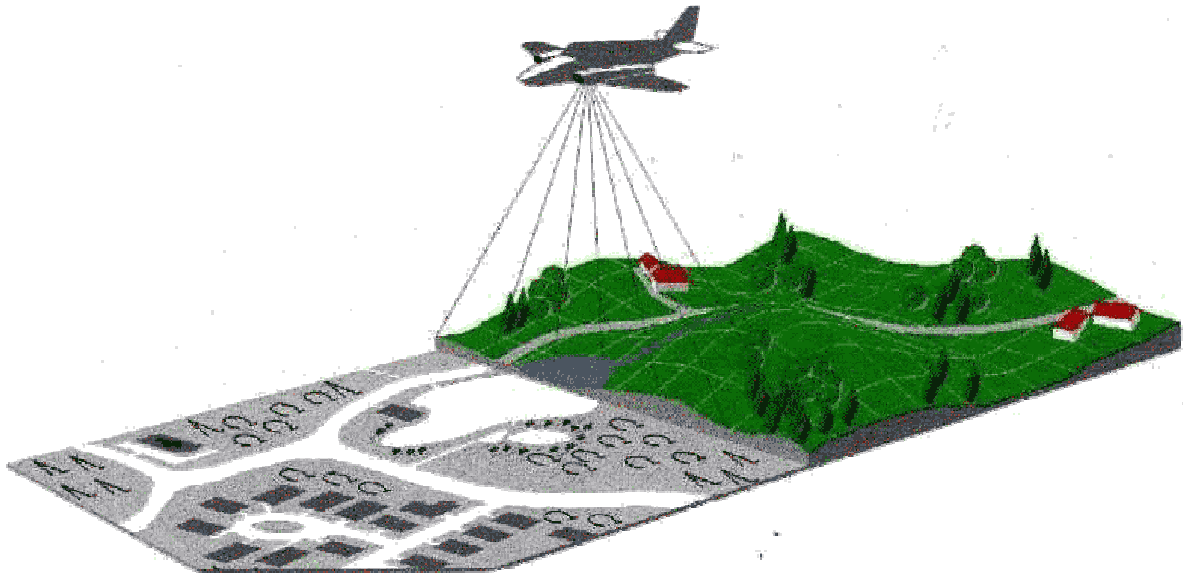


Abb. 2.1: Die Erdoberfläche wird vom Flugzeug aus "gescannt", es werden digitale Farbinfrarot Luftbilder und Laser Höhenpunkte aufgezeichnet. © TopoSys.

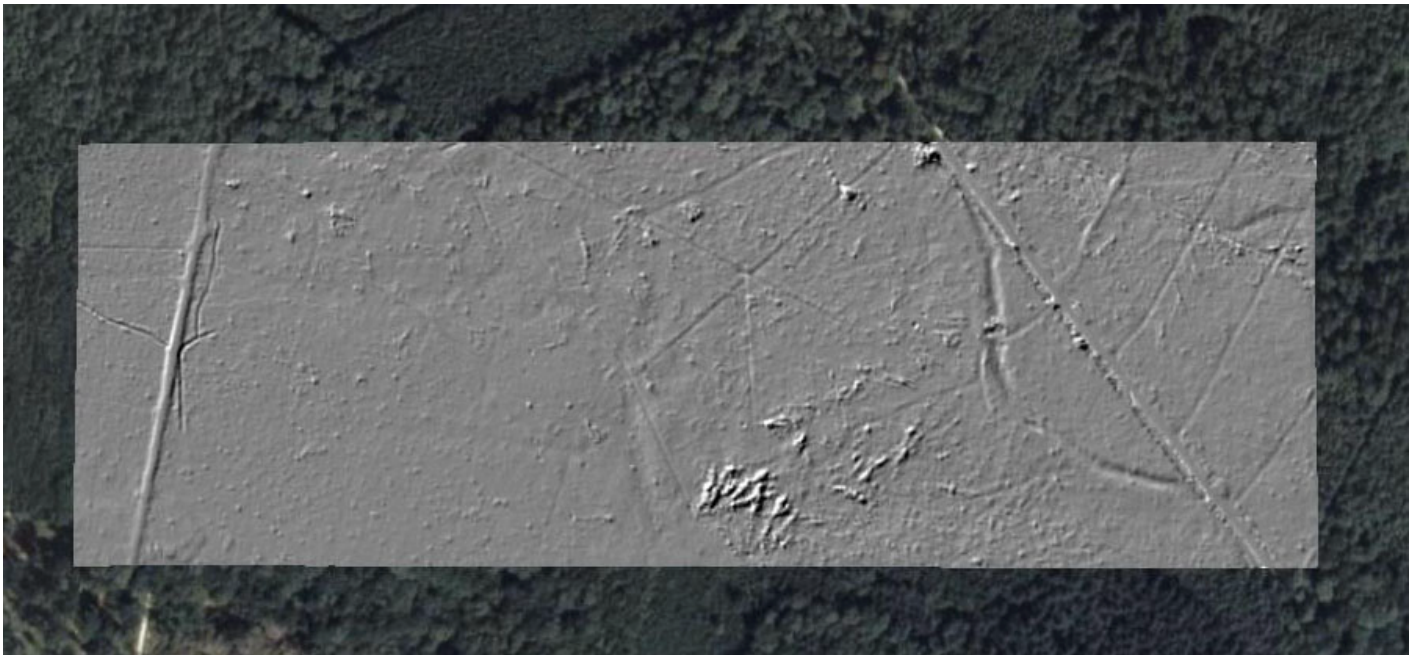


Abb.2.2: Aus der Laser Punktwolke erzeugtes Geländemodell (graues Rechteck), das auch unter dem Wald (grüner Hintergrund) "verborgene" Strukturen hervorhebt. Auf Google zu sehen unter <http://landconsult.de/google-data/toposys/testdaten.kmz>.
© TopoSys, landConsult.de.

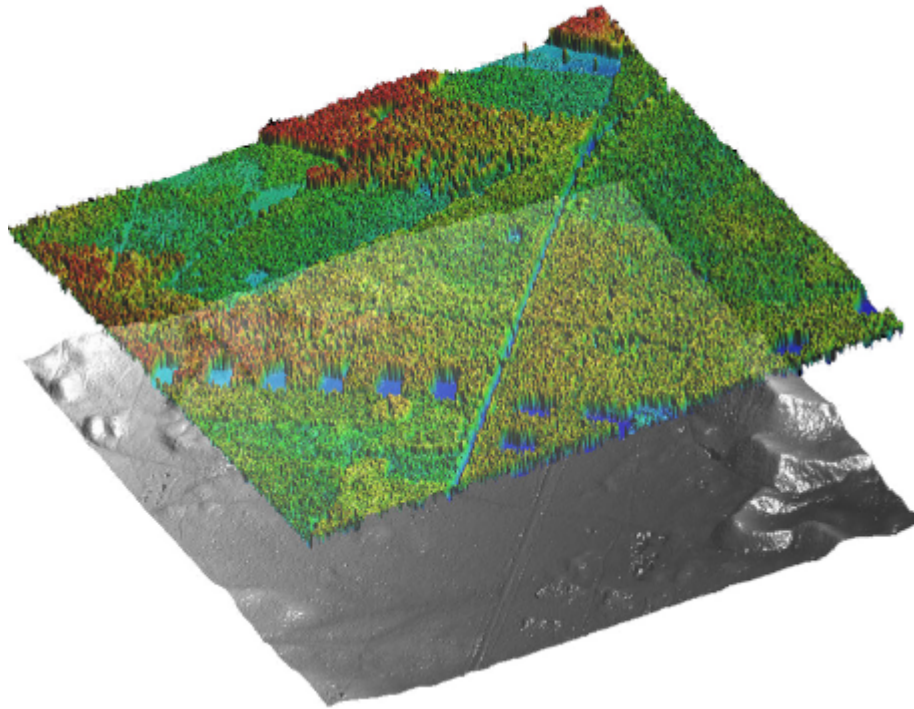


Abb. 2.3: Aus den Laserhöhenpunkten wird ein Oberflächen- und ein Geländemodell gerechnet. Das normalisierte Oberflächenmodell (nDSM), das die einzelnen Baumhöhen repräsentiert ergibt sich aus der Subtraktion des Geländemodells vom Oberflächenmodell. © ProGea

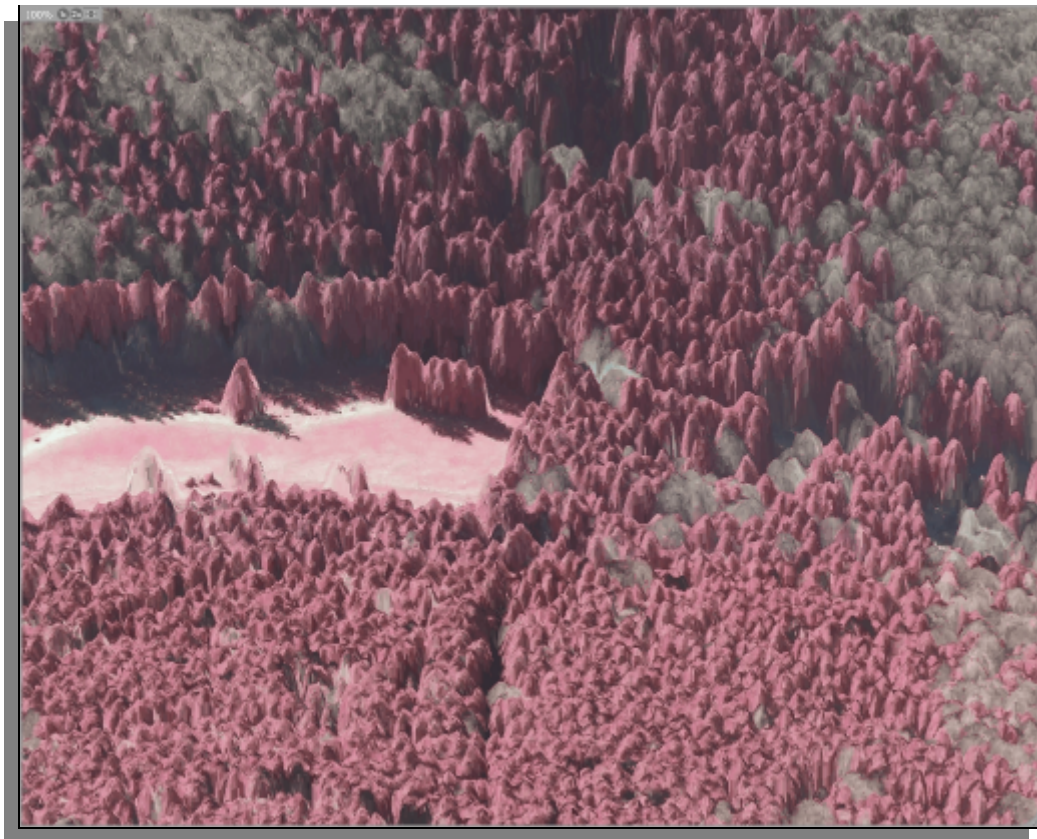


Abb. 2.4: Durch Überlagerung des Oberflächenmodells mit dem CIR Luftbild entsteht ein photorealistischer 3D Eindruck eines messbaren Waldmodells. Nadelholz zeichnet sich in dem Ende April aufgenommenen CIR Luftbild rot ab, Laubholz erscheint grau.

Beispiel 3: Verarbeitung von CIR und LiDAR Daten mittels OBIA und GIS für die Kartierung der Bestände und Wege

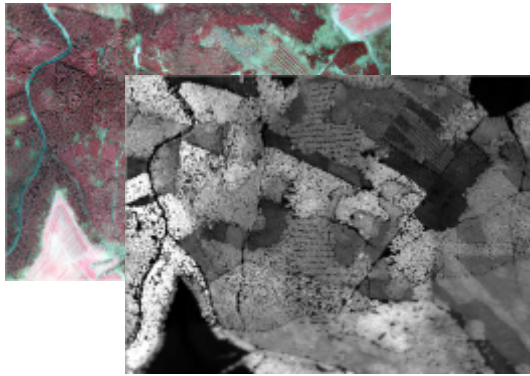


Abb. 3.1: CIR True-Orthophoto (Hintergrund) und Kronenmodell aus LiDAR Daten (Vordergrund).

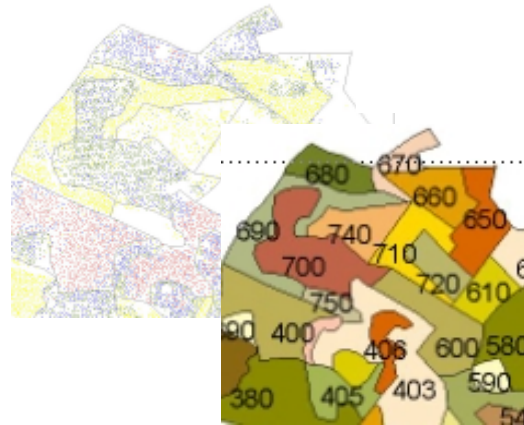


Abb. 3.2: Klassifizierte Einzelbaumhöhen (Hintergrund) und halbautomatische Bestandsabgrenzung (Vordergrund.)

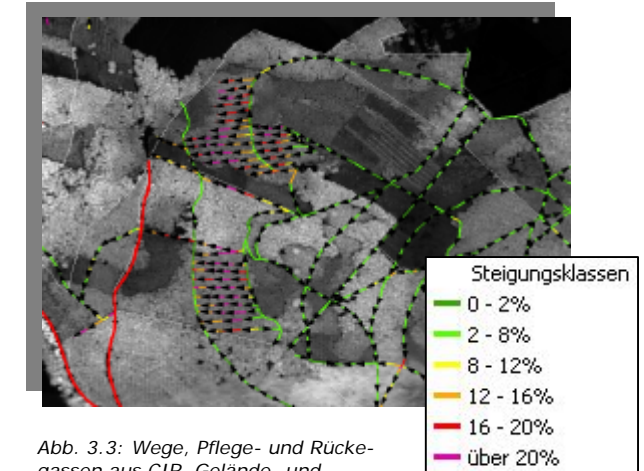


Abb. 3.3: Wege, Pflege- und Rückegassen aus CIR, Gelände- und Kronenmodell vermessen und nach Steigungsklassen und -richtung klassifiziert

Beispiel 4: Einzelbaumvermessung mittels OBIA und GIS

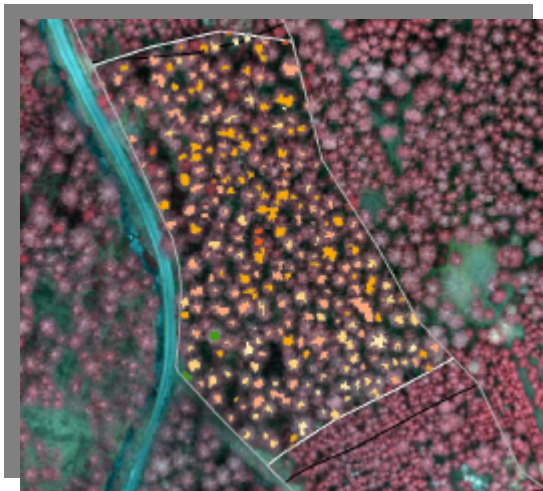


Abb. 4.1: Automatische Detektion des Kronenzentrums mittels OBIA (Definiens Developer). Die verschiedenen Farben zeigen die unterschiedliche Chlorophyll Aktivität (NDVI Wert), womit in einem Winterbild jede Krone einer Baumartengruppe zugeordnet werden kann.

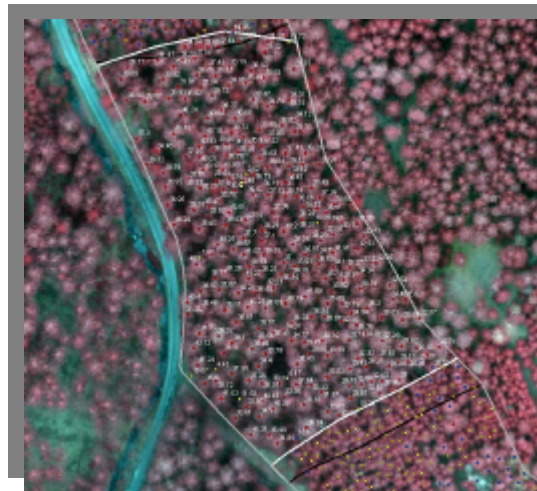


Abb. 4.2: Vermessung und Darstellung der Höhe der Einzelbäume im GIS. Jeder Baum ist mit seiner Höhe in Meter beschriftet.

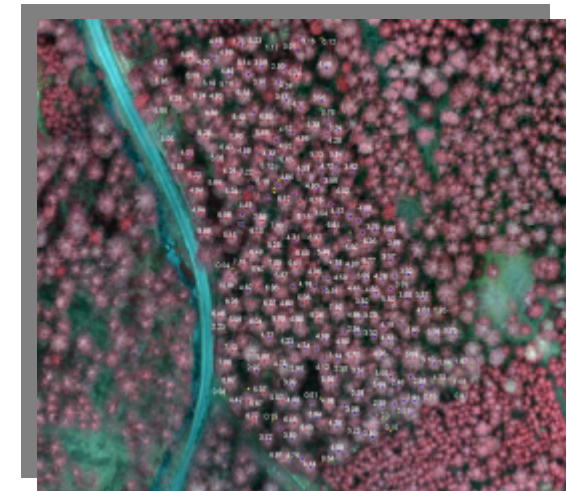


Abb. 4.3: Berechnung und Darstellung der Einzelbaumvolumen im GIS. Jeder Baum ist mit seinem Volumen in Vorratsfestmeter beschriftet.

Beispiel 5.1: Verfahren zur Ermittlung des Bestandesvorrats über die Ertragstafel

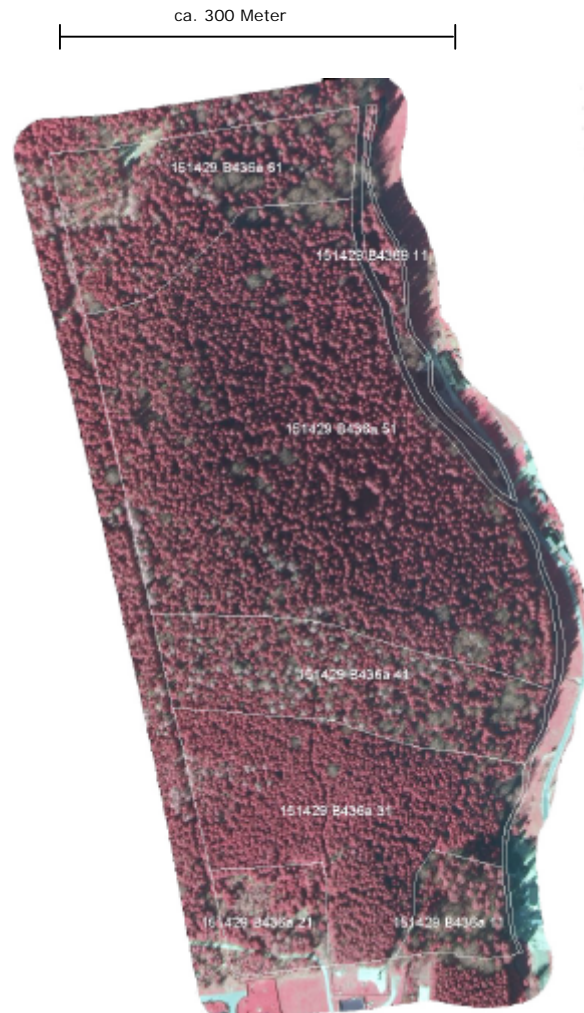


Abb. 5.1: Das Farbinfrarot Luftbild zeigt die Bestandesgrenzen in einer ca. 21 ha großen Abteilung des rund 250 ha großen Gesamtgebietes.

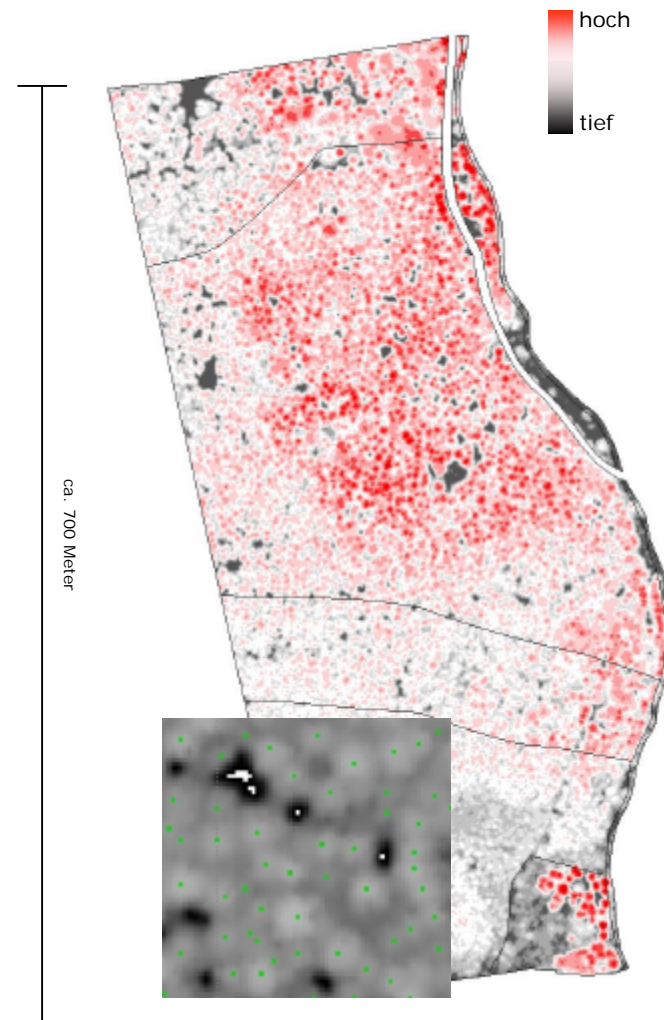


Abb. 5.2: Das normalisierte Oberflächenmodell (nDSM) wurde aus Laserpunkten mit einer Dichte von ca. 1.4 Pkt/qm errechnet. Rote Flächen zeigen die höchsten Bäume an, graue Flächen stehen für niedrige Bereiche, schwarze Flächen zeigen den Boden. In diesem Beispiel wurden die Einzelbäume allein auf Grundlage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



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

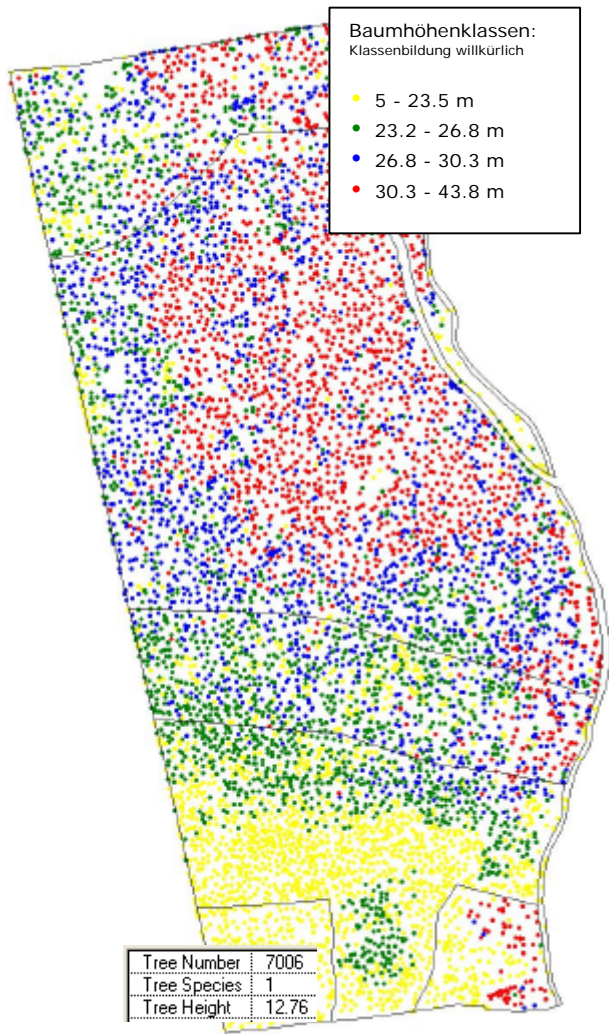


Abb. 5.4: Lage und Höhe der Einzelbäume, die in diesem Beispiel mittels eines *local maxima* Algorithmus aus dem nDSM berechnet wurden. Aus den Einzelbaumhöhen lässt sich die Bestandesmittelhöhe und die mittlere Oberhöhe bzw. Spitzenhöhe berechnen, die als Grundlage für die Bonitierung der Bestände genutzt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

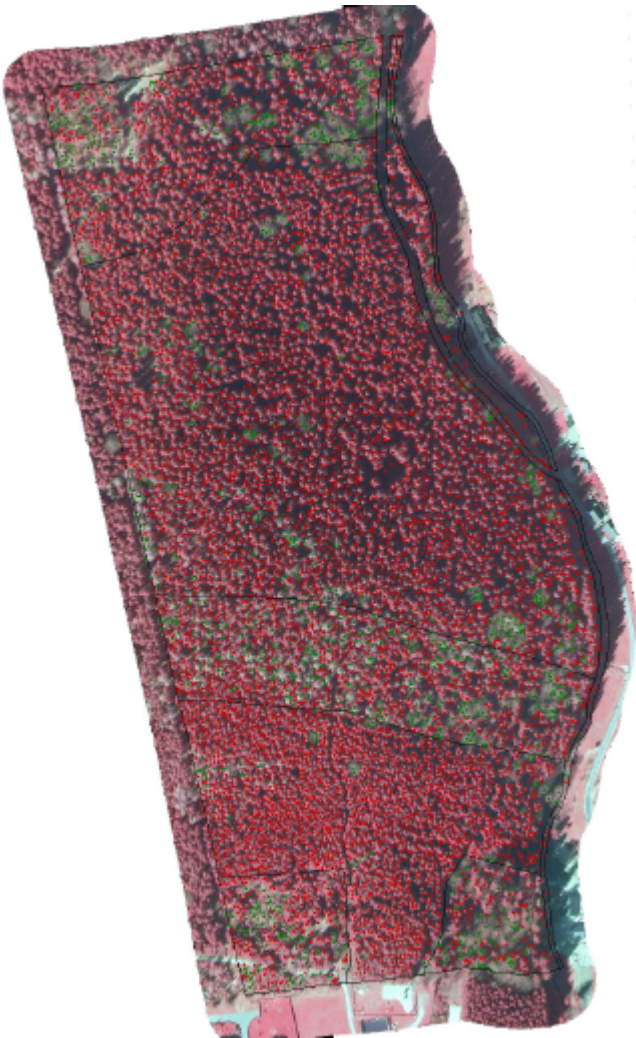


Abb. 5.5: Das Luftbild mit den Einzelbäumen. Rote Punkte stehen für Nadelbäume, grüne Punkte für Laubbäume.

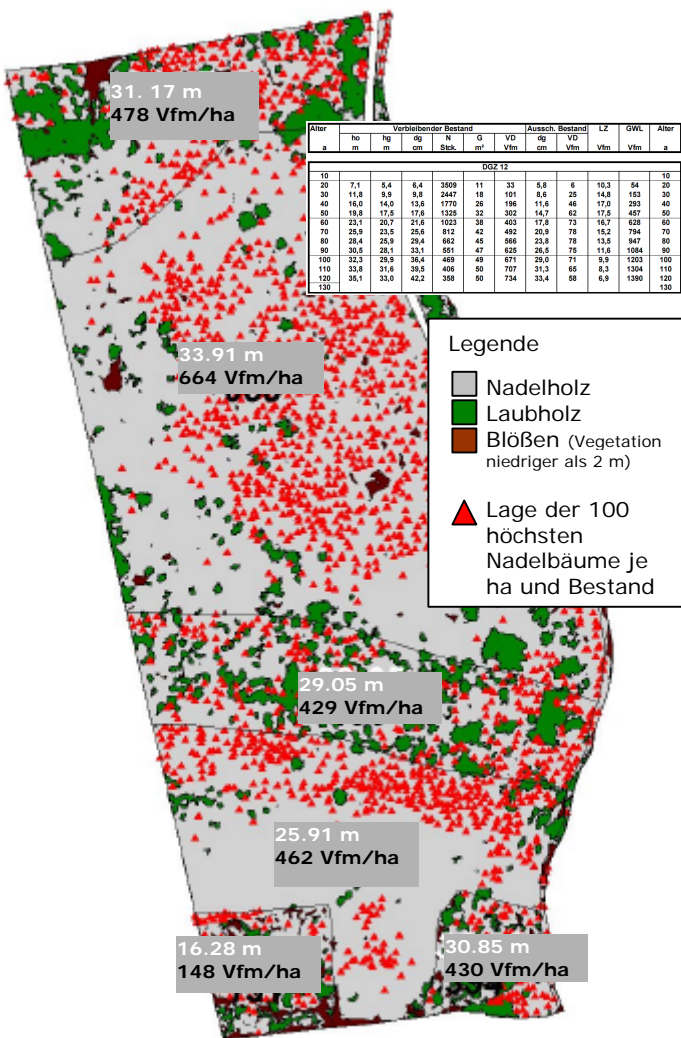


Abb. 5.6: Karte des berechneten Nadelholzvorrates (Vfm/ha, schwarze Ziffern) je Bestand unter Berücksichtigung des Ndh Flächenanteils (graue Flächen) und der mittleren Höhe der 100 höchsten Nadelbäume je Bestand und ha (weiße Ziffern). Die roten Dreiecke bezeichnen die Lage dieser für die Bonitierung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

Beispiel 5.2: Einsatz des Verfahrens zur Ermittlung des Bestandesvorrats über die Ertragstafel auf großer Fläche

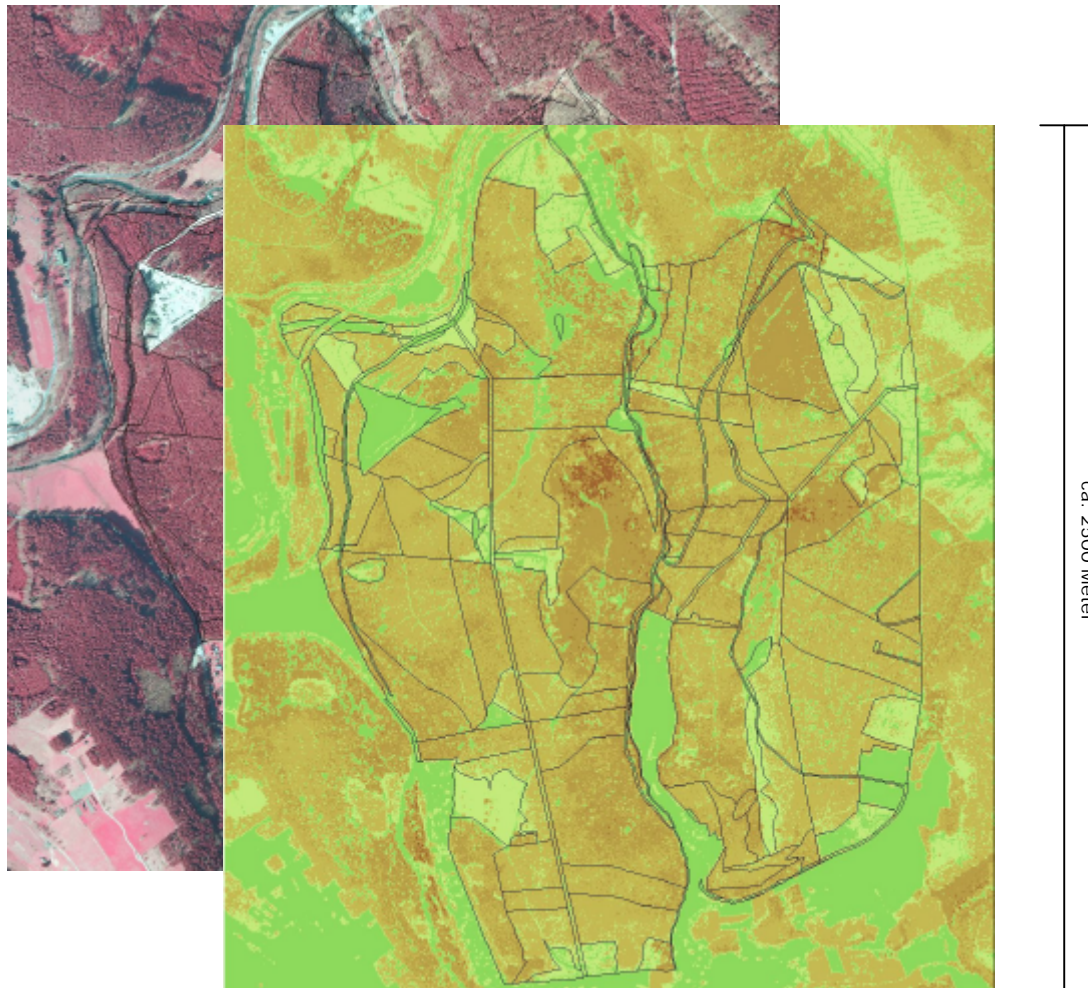


Abb. 5.7: CIR Orthophoto Mosaik (Hintergrund) und Kronenoberflächenmodell mit den Bestandesgrenzen eines ca. 250 ha großen Waldgebietes. Die in den Abbildungen 5.1 - 5.6 gezeigte Abteilung ist am unteren Bildrand wiederzuerkennen.

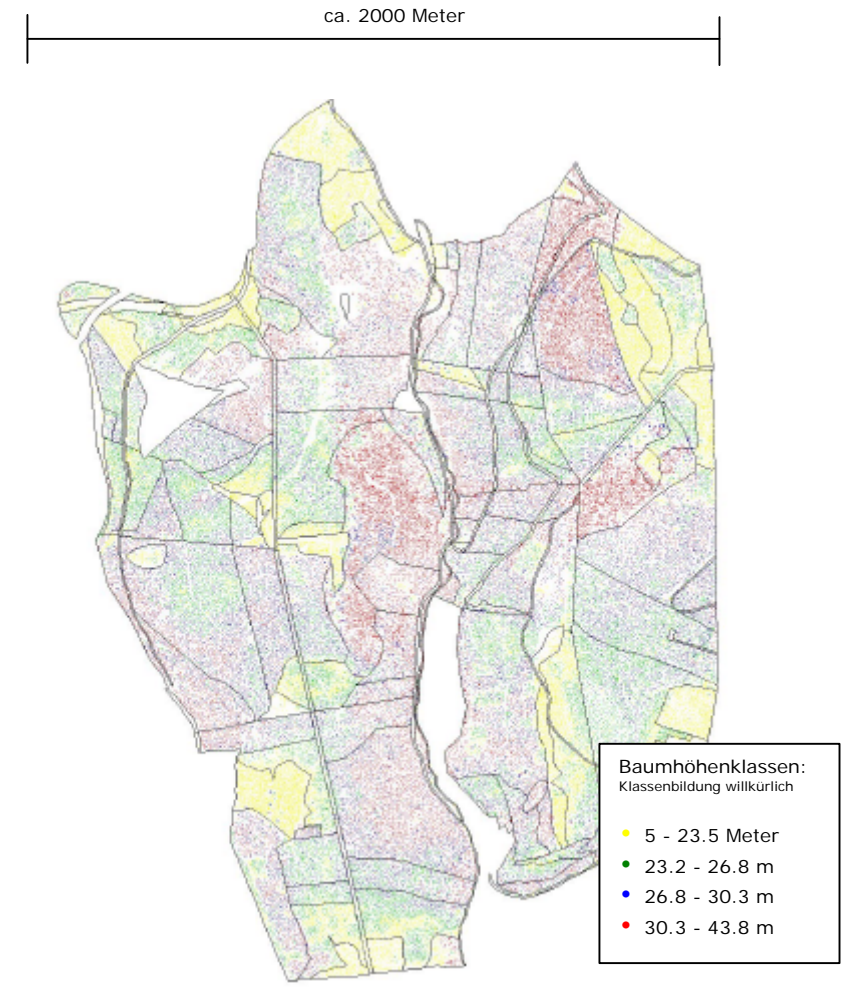


Abb. 5.8: Insgesamt wurden in diesem Beispiel rund 95.000 Einzelbäume automatisch lokalisiert und ihre Höhen vermessen. Auf Grundlage dieser Einzelbaumhöhen kann der Vorrat für jeden Bestand getrennt nach Laubholz und Nadelholz über die jeweilige Oberhöhe und die Ertragstafel ermittelt werden. Das Verfahren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

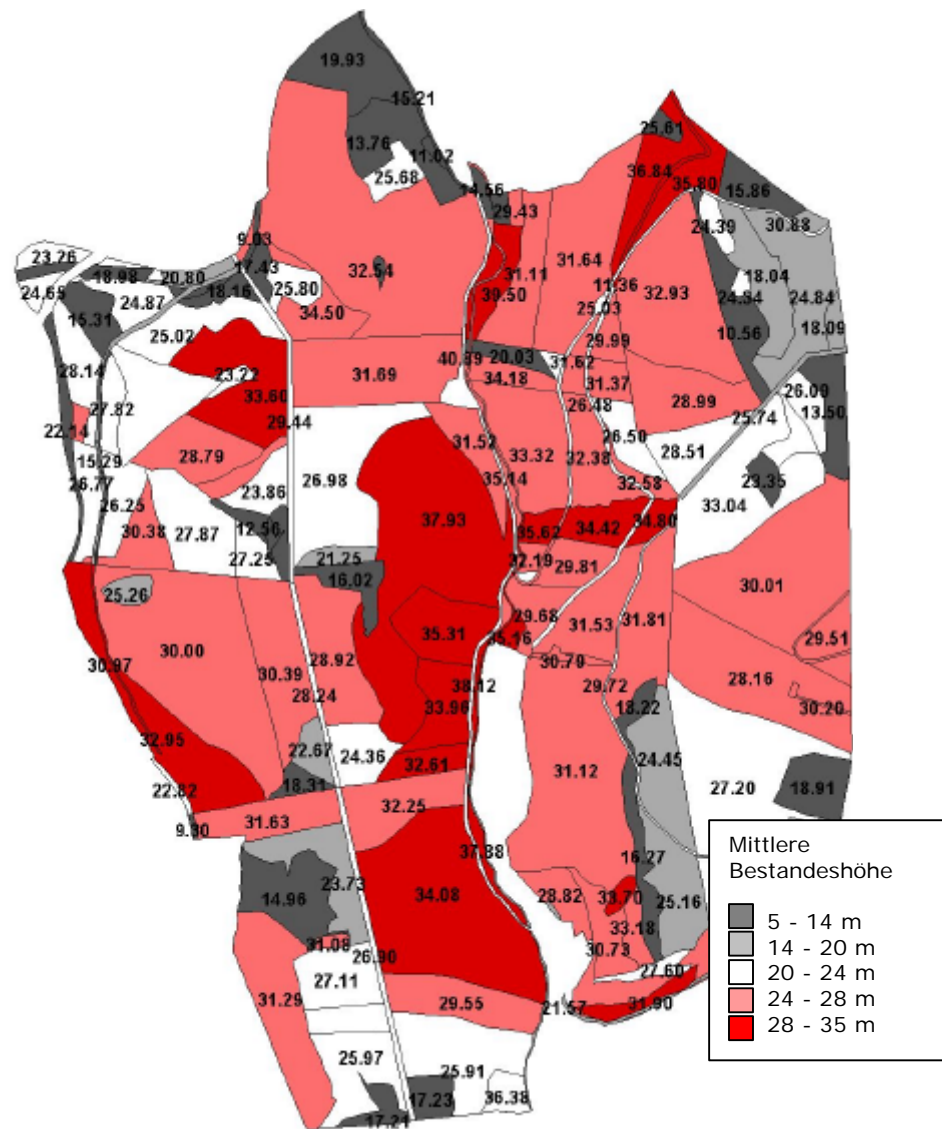
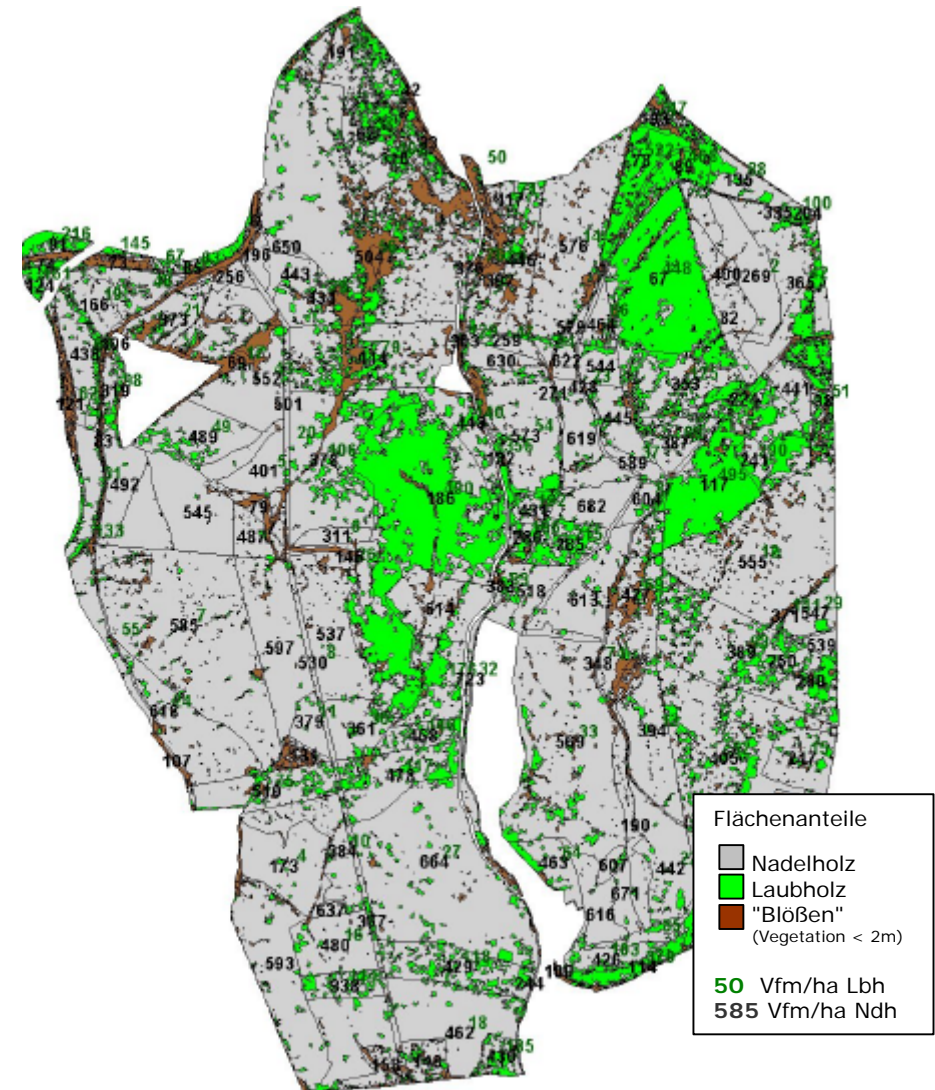


Abb. 5.9: Karte mit mittleren Bestandeshöhen (farbige Flächen) und mittleren Oberhöhen (schwarze Ziffern). Die Höhenverteilung kann zusätzlich durch Standardabweichung, Varianz, Minimum oder Maximum beschreiben und die Lage der entsprechenden Bäume auf der Karte dargestellt werden.



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

Veröffentlichungen:

- landConsult.de (2007): <http://landconsult.de/home/innovation>, Online Work Demos
- Wezyk, P., de Kok, R., Szombara, S., Weidenbach, M., Zajackowski, G. (2007): Replacing Sample Plots Forest Inventory by whole Stand Measurements based on LiDAR and Orthophoto. Poster Presentation ForestSat Conference, Montpellier.
- De Kok, R., Wezyk, P. (2006): Process development and sequential image classification for automatic mapping using case studies in forestry. Proceedings of 3D Forestry Conference in Vienna.
- De Kok, R., Wezyk, P. (2005): Automatic Mapping of the Dynamics of Forest Succession on Abandoned Parcels in South Poland. Beitrag zur AGIT Symposium in Salzburg.
- Wezyk, P., de KoK, R., Zajackowski, G. (2005): The role of statistical and structural texture analysis in VHR image analysis for forest applications. A case study on Quickbird data in the Niepolomice Forest.
- Thies, M., Koch, B. Spiecker, H., Weinacker, H. (2004): Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment. Proceedings of NatScan Conference, Freiburg im Breisgau, Germany