

Automatisierte Baumextraktion mit höchstaufgelösten Oberflächenmodellen abgeleitet aus UltracamX-Daten

Dirk TIEDE¹ & Stefan LANG^{1,2}

¹Zentrum für Geoinformatik, Universität Salzburg

²Fachgebiet Geoinformationsverarbeitung in der Landschafts- und Umweltplanung, ILaUP, TU Berlin

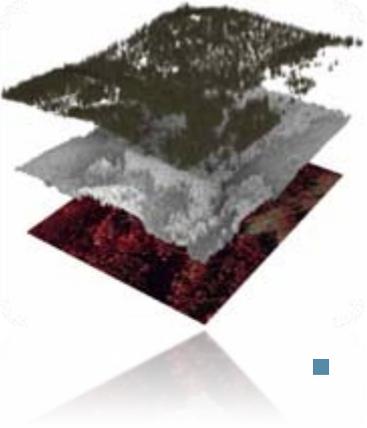
**DGPF Workshop “Aktuelle Entwicklungen bei der Auswertung von
Fernerkundungsdaten für forstliche Aufgabenstellungen”**

20. Oktober 2009, TU Berlin

Motivation

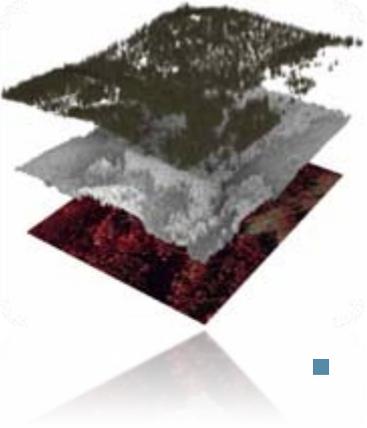
- **Unterstützung von Waldinventur und Monitoring**
 - Waldinventur 2002 in Österreich (47% Waldbedeckung mit steigender Tendenz): 11.000 Beobachtungspunkte, umfangreiche Erhebung waldökologischer und forstökonomischer Parameter durch Experten
 - Aufnahmeperiode heute alle 3 Jahre → Suche nach unterstützenden Verfahren und Methoden
Methoden zur Verbesserung der Waldinventur und Forstbetriebsinventur allgemein
 - Erfüllung von Berichtspflichten im Kontext von Schutzgebietsmanagement (z.B. Windwurf- und Totholzflächen in Nationalparks) und internationalen Abkommen (Kyoto Protokoll etc.)





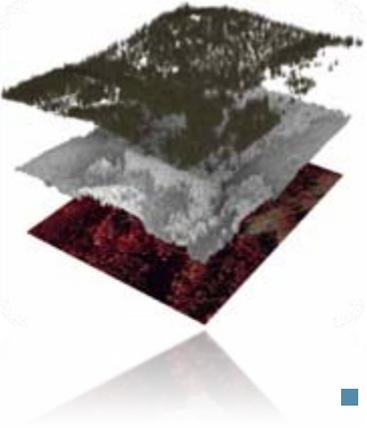
Motivation (Forts.)

- **Technische Rahmenbedingungen**
 - Vielzahl von Algorithmen für die Extraktion von Merkmalen aus höchst aufgelösten Fernerkundungsdaten für die Forsteinrichtung stehen mittlerweile zur Verfügung
 - Verfügbarkeit von immer höher aufgelösten Oberflächenmodellen (v.a. ALS-Befliegungen)
- **Einsetzbarkeit für Anforderungen von Waldinventuren**
 - Insbesondere Parameter wie **Baumanzahl**, **Baumhöhe**, **Kronendurchmesser** und zum Teil **Baumartenunterscheidungen** durch automatisierte Auswertungen flächendeckend
 - Kombination von multispektralen Bilddaten mit 3D-Oberflächenmodellen zukunftsweisend für die Forsteinrichtung



Motivation (Forts.)

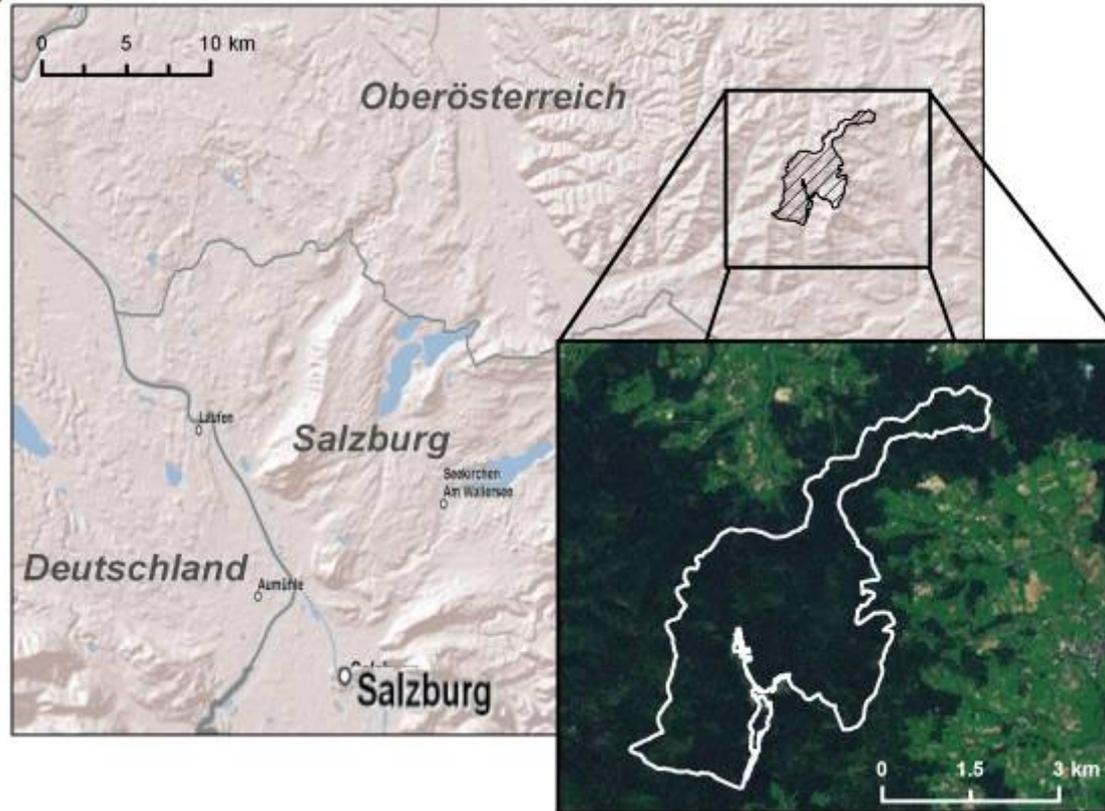
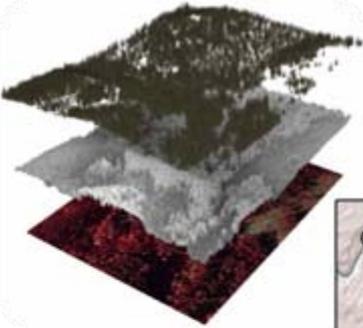
- **Einsatz für Waldinventuren, aber ...**
 - ALS-Befliegungen immer noch aufwändig und teuer
 - selten Einsatz lohnend für kurzfristig geplante ‚ad-hoc‘ Beobachtungen
- **Machbarkeitsstudie UltraCamX**
 - Auftragsforschung der Firma FMM (gefördert durch FFG)
 - Kombination von *UltraCamX*-Daten (multispektral + Oberflächenmodell aus Stereoauswertung) und ALS-Geländemodell
 - Ein +- stabiles, bestehendes Geländemodell soll genutzt werden, um die aktuellen Oberflächenmodelle zu normalisieren (nDOM)
 - Zeitraum zwischen den ALS-Befliegungen soll vergrößert werden und durch UltracamX-Befliegungen kompensiert werden
 - Gleichzeitige Gewinnung von aktuellen Oberflächenmodellen und aktuellen Bilddaten



Ziel der Untersuchung

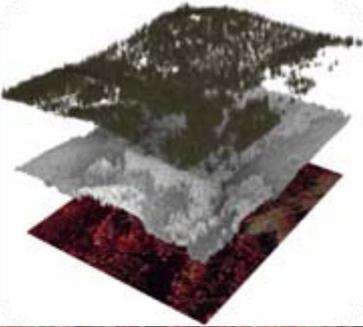
- **Automatisierte, übertragbare Extraktion von Einzelbäumen >2 und den Einzelbaumparametern**
 - Baumhöhe,
 - Baumkrone,
 - wenn möglich **Baumart** (vorerst Nadel- oder Laubbaum)

Untersuchungsgebiet



- **14 km²** überwiegend bewaldete Fläche im südwestlichen Oberösterreich (Kobernauserwald)

- Stark von Fichte (*Picea abies*) dominiert. Zweite bedeutende Baumart: Buche (*Fagus sylvatica*).
- Andere Baumarten wie Tanne, Bergahorn, Douglasie oder Erle halten einen Flächenanteil von weniger als 7 %



VEXCEL
IMAGING
a Microsoft company



Daten

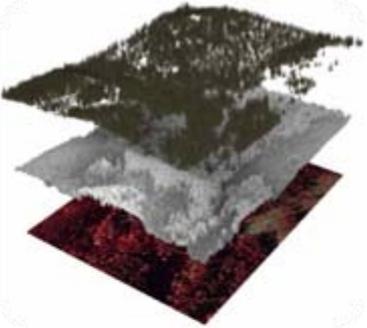


- Befliegungen durch die Firma **Forest Mapping Management** (FMM) mit der hochauflösenden Digitalkamera *Microsoft UltraCamX* (Oktober 2008):
 - **Digitale Infrarot-Orthofotos** (OLO: Objektlagerichtige Orthofotos) mit 12,5 cm GSD, Überlappung von 80/60
 - Berechnung von höchstauflösten und hochgenauen **Oberflächenmodelle** (DOM: digitales Oberflächenmodell) mit einer GSD von ebenfalls 12,5 cm.
- Bestehendes digitales **Geländemodell** aus ALS-Befliegung (DGM, 1 m Bodenauflösung, 2007) zur Normalisierung der Oberflächendaten (bereitgestellt vom Land Oberösterreich)



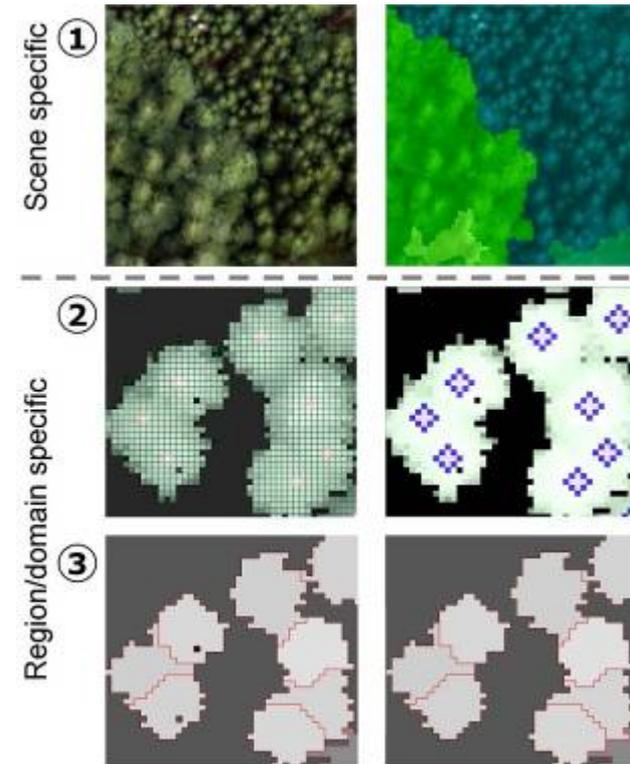
Informationsextraktion

Algorithmus zur Einzelbaumextraktion

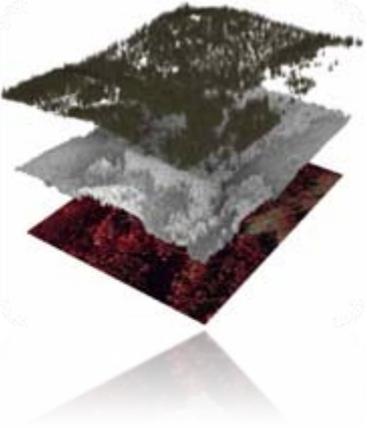


Algorithmus zur Einzelbaumextraktion

- Objekt-basierter in CNL (Cognition Network Language in der Softwareumgebung *Definiens Developer*) programmierter Algorithmus zur Einzelbaumextraktion
- Ursprünglich für Laserdaten entwickelt - wurde auf den vorliegenden Datensatz angepasst
- **Funktion:**
 - ausgehend von **lokalen Maxima** werden abhängig von den zugrunde liegenden Höhenwerten und Höhenwertänderungen des nDOM einzelne Baumkronen abgegrenzt
 - Berechnungen der lokalen Maxima als auch die **Extraktionsparameter** des Regelsatzes **regionsbasiert** automatisch gesteuert.
 - Die Regionen (vergleichbar mit Bestandeseinheiten, ähnlich in Höhe und Struktur) werden dabei durch eine vorhergehende Segmentierung und Klassifizierung bestimmt
 - Extrahierte Baumkronen werden abschließend nach ihren spektralen Eigenschaften in Laub- bzw. Nadelbäume unterschieden



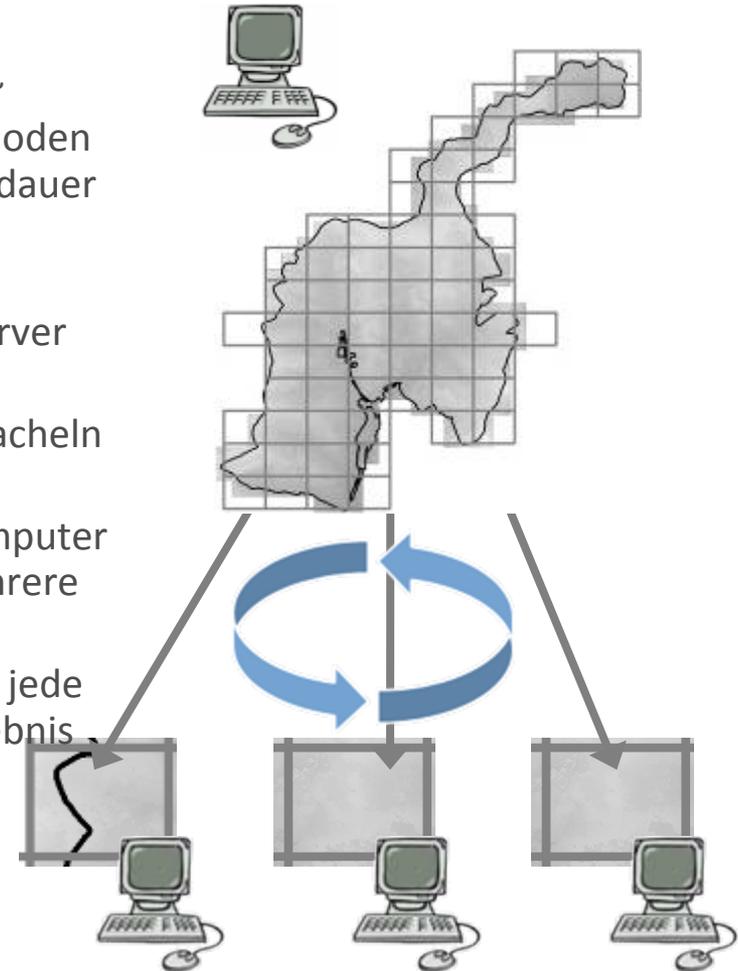
Nach Tiede et al., 2004

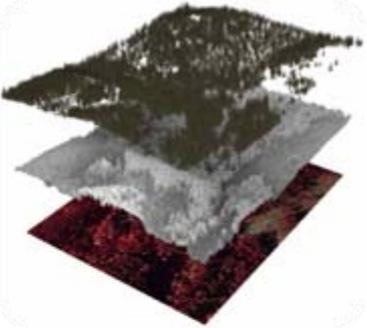


Informationsextraktion (Forts.)

Grid-Computing

- Prinzip
 - großes Datenvolumen (nDOM ~ 12 GB) erfordert spezielle Methoden um Berechnungsaufwand und -dauer zu reduzieren/überhaupt zu ermöglichen
- Realisierung Software eCognition Server
 - Automatische Aufteilung des Untersuchungsgebietes in 65 Kacheln (ca. 500m x 600m)
 - Steuerung über einen Host-Computer – verteilen der Kacheln auf mehrere Computer
 - Regelsatz/Algorithmus wird auf jede Kachel einzeln angewandt. Ergebnis wird zum Host-Computer zurückgespielt

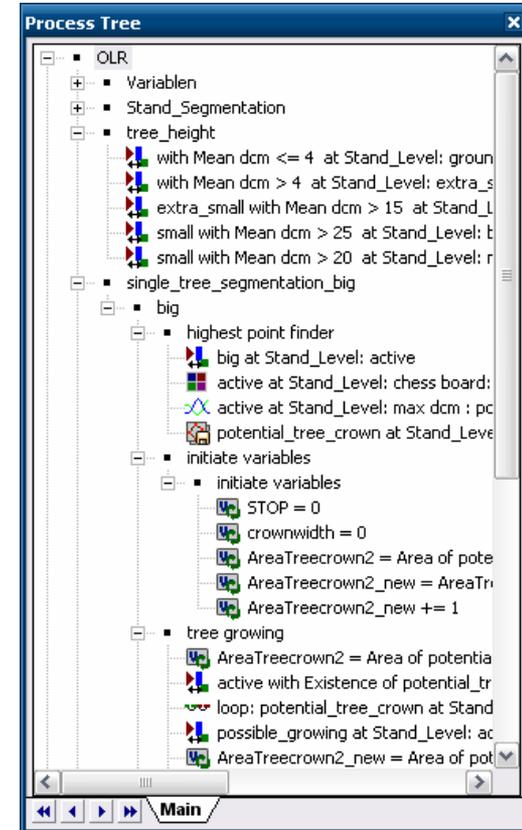


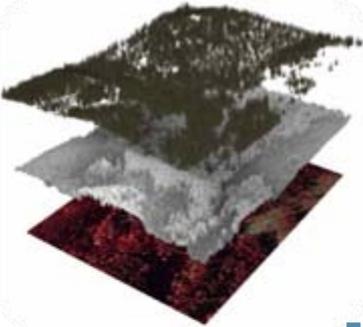


Informationsextraktion (Forts.)

Grid-Computing

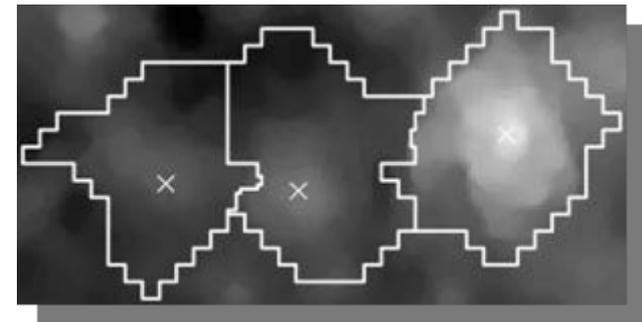
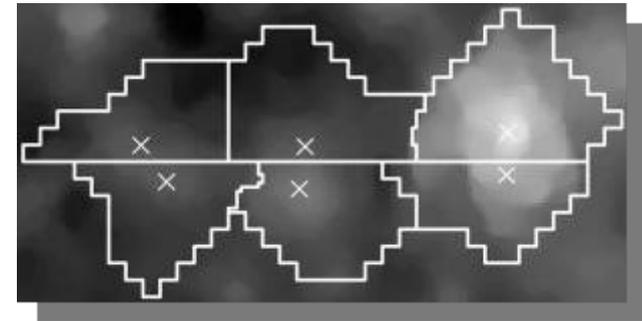
- Durchführung
 - Berechnung auf 3 Standard PCs
 - **Wichtig:** Regelsätze müssen so übertragbar sein, dass sie für alle einzelnen Kacheln ohne Veränderungen angemessen funktionieren
 - → Im vorliegenden Fall durch Verwendung von „normalisierten Daten“ (hier: Höheninformation) relativ einfach
 - Spektrale, fest-codierte Werte wurden nur für die NDVI -abgeleitete Unterscheidung von Laub- und Nadelwald verwendet





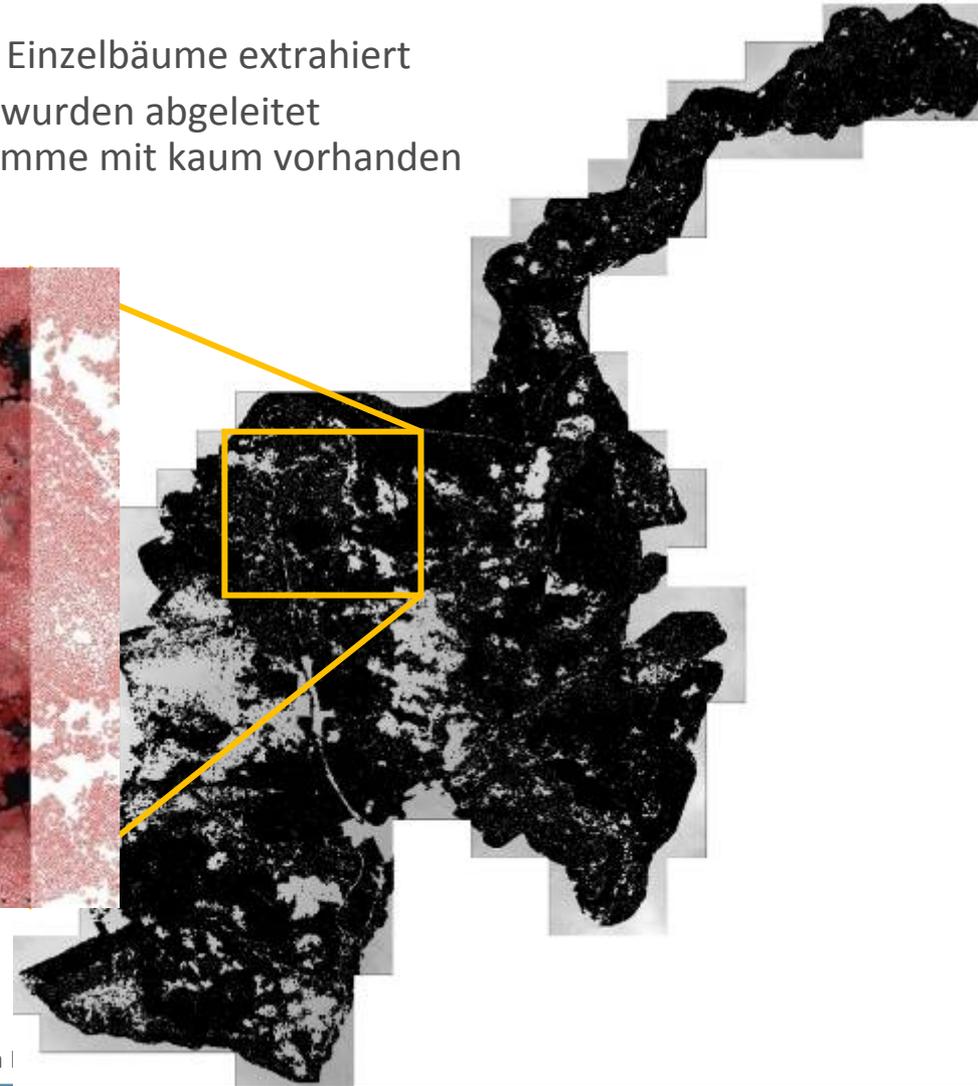
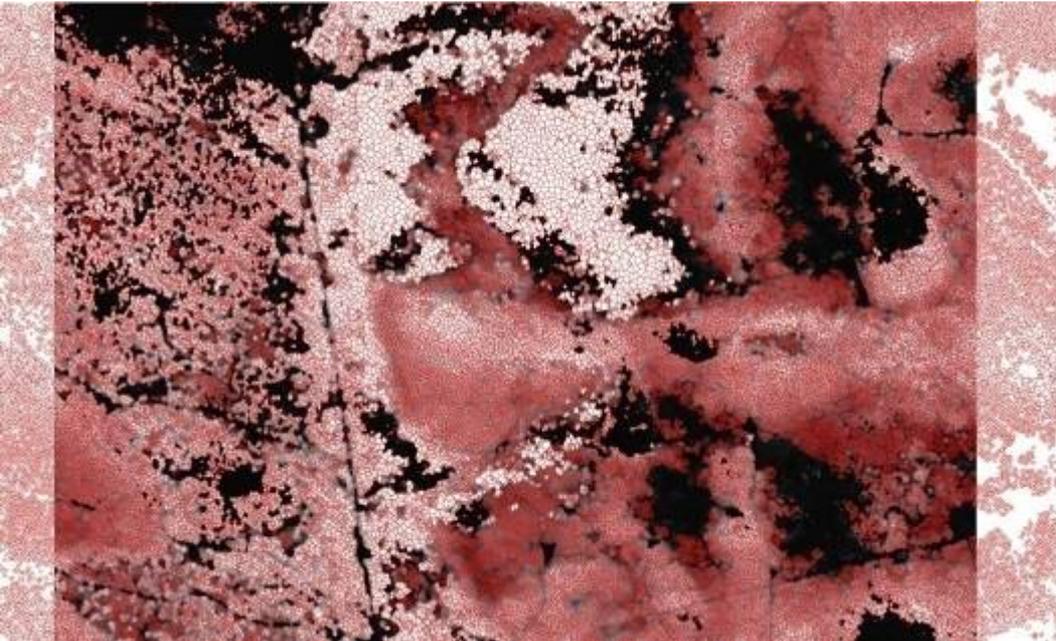
Nachbearbeitung

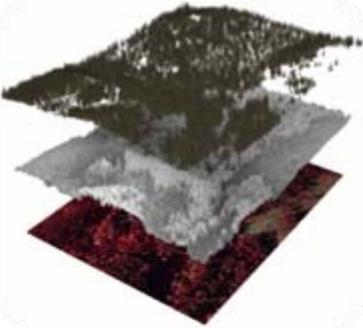
- Kachelung führt zu Artefakten an den Randgebieten
- Nachbearbeitung notwendig, um Doppelkronen bzw. doppelte lokale Maxima zu entfernen und Kronenpolygone zu verbinden
- Entwicklung einer VBA Routine in *ArcGIS*:
 - Suche doppelt extrahierter Kronenmaxima in den Randbereichen der Kacheln
 - Zusammenfügen geteilter Kronenhälften
 - Selektion des höheren Kronenmaximums und löschen des zweiten



Ergebnisse

- Insgesamt wurden ca. **380.000** Einzelbäume extrahiert
- fast ebenso viele Baumkronen wurden abgeleitet (Ausnahmen durch Totholz, Stämme mit kaum vorhandenen Kronen)



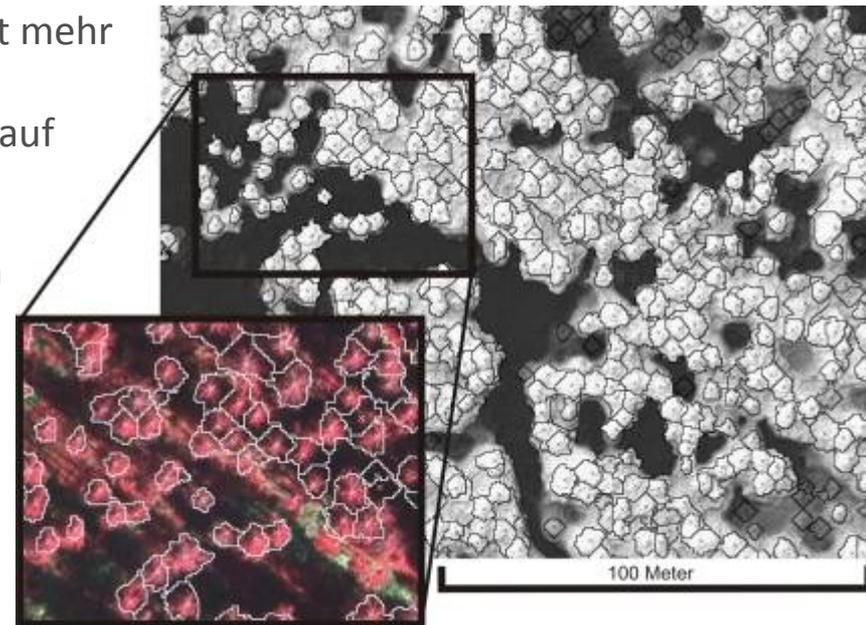


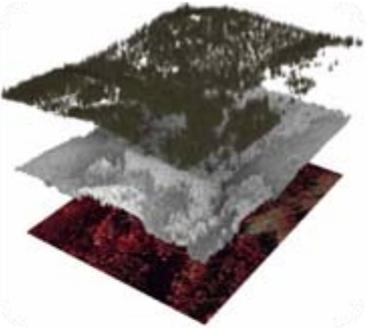
Ergebnisse (Forts.)

- Berechnungszeit der Extraktion (ohne Vor- und Nachbearbeitung) ca. **20 Stunden** unter Verwendung von zwei PCs (plus 1 PC zur Steuerung des Prozesses)
- Durch den Einsatz von mehreren PCs lässt sich diese Zeitdauer weiter deutlich senken
- Initiale Regelsatzentwicklung nimmt mehr Zeit in Anspruch
- Da Extraktion der Baumkronen nur auf dem nDOM beruht, ist eine **Übertragbarkeit** der Regelsätze auf andere Gebiete sehr leicht gegeben (Baumartenunterscheidung muss angepasst werden)

Großer Bildausschnitt: Auf Grundlage des nDOM extrahierte Einzelbäume (schwarze Kreuze) und abgeleitete Baumkronen.

Kleiner Bildausschnitt: Extrahierte Einzelbäume mit unterlegten Infrarot-Orthofotos.



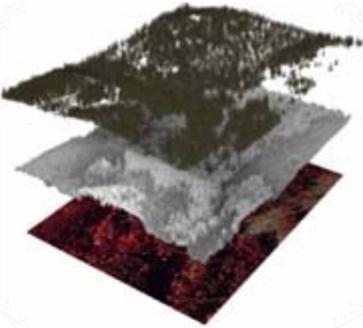


Genauigkeitsüberprüfung

- Ergebnisse der Einzelbaumerkennung stichprobenweise und in Bezug zur klassischen Taxation verglichen (durchgeführt von FMM)
- Zufällige Auswahl von **Probepunkten per GPS**. Von diesen Punkten ausgehend, wurden alle Bäume innerhalb eines bestimmten Radius (5,64 m) polar eingemessen und relevante Baummerkmale erhoben
- Die Anzahl der in die Probe gefallen Bäume wurde anschließend mit den Resultaten der automatischen Einzelbaumextraktion verglichen
- In sehr jungen Beständen (14-18 m MH) Erkennungsraten im Schnitt von ca. 64 % - in Altholzbeständen Erkennungsraten von mehr als 90 %:

<i>MH (Mittelhöhe des Bestandes)</i>	<i>Anzahl gemessener GPS Punkte</i>	<i>Einzelbaumerkennung (%)¹</i>
<14	3	52
14-18	11	64
18-22	14	77
22-26	12	86
26-30	9	94

^[1] Prozentualer Wert der innerhalb eines Radius von 5,64 m um die GPS Punkte korrekt extrahierten Bäume



Genauigkeitsüberprüfung (Forts.)

Einzelbaumerkennung

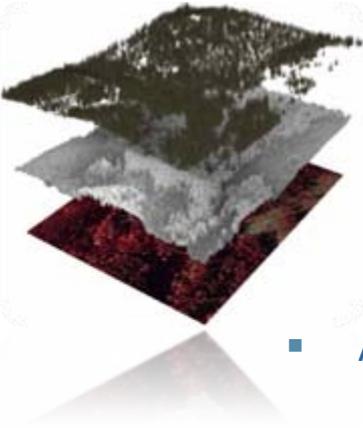
- Exaktere Ergebnisse, je besser die individuellen Baumkronen ausdifferenziert sind
- **Problematisch sind sehr strukturreiche Bestände** (mehrere Individuen als ein Baum)
- Laubbäume mit Zwieselwuchs als zwei Individuen → local maxima Algorithmen
- Ab Bestandesalter von ca. 50 Jahren Stammzahlen in Nadelholzreinbeständen mit praxisgerechten Genauigkeiten
- Mischungsgrad, Mischungsart und vertikaler Struktur (Mischbestände)

Höhenableitung

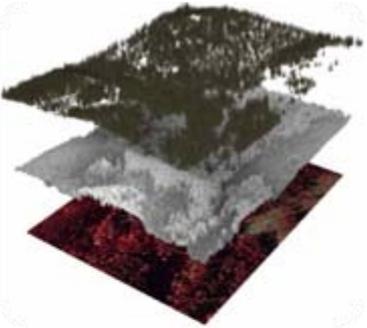
- Die Ableitung der Baumhöhen weist **höhere Genauigkeiten** auf als dies bei einer normalen Forstinventur möglich ist
- Vergleichsmessungen im Gelände ergaben deutlich bessere Resultate für die Ableitung der Mittel- und Oberhöhe im Vergleich zu terrestrischen Messungen

Baumartenerkennung

- Die **Baumartenunterscheidung** war aufgrund der späten Befliegung mit der *UltracamX* (Oktober 2008) nur **eingeschränkt** möglich (nur Differenzierung zwischen Laub- und Nadelholz anhand NDVI). Hier: keine Fehler innerhalb der Stichprobenflächen!



- **Automatisierte Ableitung** von wichtigen Parametern **schnell und akkurat möglich**
 - Im reinen Altersklassenwald gelangt man mit Hilfe dieses Verfahrens **schnell** an wichtige Bestandsparameter
 - Für **sehr strukturreiche** Bestände können noch keine verlässlichen Aussagen getroffen werden (→ Datenmaterial fehlt noch)
 - Die für diese Auswertung zur Verfügung gestellten Bilder wurden sehr spät im Jahr aufgenommen (→ Schattenanteil). Bei einer Befliegung im Frühjahr/Sommer ist davon auszugehen, dass die Ergebnisse sich noch weiter **verbessern** lassen
 - Gute Darstellung von **Bestandesstrukturen**, auch wenn die Einzelbaumerkennung gerade in jüngeren und sehr strukturreichen Beständen noch fehlerhaft ist (→ Ableitung von Waldstrukturen über Höhenkarten zur Forstkarterzeugung)
 - Eine **Vorratsableitung** über die automatische Baumerkennung unter Zuhilfenahme der Baumkronengröße könnte **deutlich objektivere** (nachvollziehbarere) Werte liefern, als dies durch den Taxator im Wald feststellbar ist.



- ➔ Möglichkeit in Zukunft ein kostengünstigeres Waldmonitoring, unabhängig von ALS-Daten, durchzuführen.
- ➔ Allgemein könnten Forsteinrichtungsprojekte deutlich schneller und genauer durchzuführen, vor allem durch die Reduktion des Messaufwands im Wald (➔ allerdings erhöhter Auswertungsaufwand der erhobenen Informationen, da entsprechende Programme zur Auswertung noch nicht vorhanden sind)
 - Weitere Untersuchungen in Planung: Übertragung auf Gebiete mit Laubwalddominanz und der direkte Vergleich zu aus ALS-Daten abgeleiteten Parametern
 - Vergleich bezieht sich nur auf die von ALS-Daten abgeleiteten Produkte (DGM und DOM). Die Möglichkeit der Erfassung vertikaler Strukturparameter (wie z.B. mit Hilfe von ALS-Rohdaten) ist in dem vorgestellten Beispiel nicht möglich.
 - Andererseits besteht beim aus UltracamX Daten abgeleiteten Oberflächenmodell der Vorteil der Verwendung von kontinuierlichen Daten, während ALS-Befliegungen mit sehr hohen Punktdichten geflogen werden müssen, um ähnliche Bodenauflösungen zu erhalten

Vielen Dank!

Mitarbeit: Hermann Nowak, FMM und Antonia Osberger, Z_GIS

Kontakt: dirk.tiede@sbg.ac.at, stefan.lang@sbg.ac.at,

Finanzierung: Das Projekt wurde unterstützt durch eine "Innovationsscheck" der FFG.

Daten: Das verwendete Geländemodell auf Grundlage einer ALS-Befliegung wurde freundlicherweise von der Abteilung „Geoinformation und Liegenschaft“ der Oberösterreichischen Landesregierung zur Verfügung gestellt