

Aufnahme und Auswertung von hochaufgelösten Vegetationsdaten terrestrischer Laserscanner zur Ableitung der 3D-Bestandsstruktur

Anne Bienert, Hans-Gerd Maas

Tharandt, 9. September, 2010

Gliederung

- 1. Motivation
- 2. Datenerfassung
- 3. Bestandsbeschreibende Parameter
- 4. Voxelraum
- 5. Zusammenfassung

Motivation

- Anwendung von Turbulenzmodellen ist limitiert durch Parametrisierung der Pflanzenarchitektur
- bisher: herkömmliche Vegetationsdatenerfassung
- jetzt: terrestrisches Laserscanning (detaillierte 3D Information)

Aber:

- Punktwolken nicht handhabbar in numerischen Vegetationsmodellen für Windfeldsimulationen

Ziel:

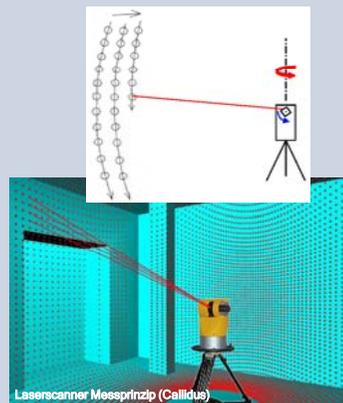
- *Generalisierung von unorganisierten Punktwolken zu diskreten 3D-Datenstrukturen*
- *Bestimmung von Strukturparametern und Extraktion von Parametern zur Bestimmung von Widerstandsbeiwerten*

Datenerfassung

- 25 km südwestlich von Dresden, Sachsen
- Ökomeßfeld - kontinuierliche meteorologische Messungen
- Waldbestand mit Lichtung "Wildacker" (50 m x 90 m)
- 87 % Nadelbäume und 13 % Laubbäume als Umrandung der Lichtung
- Baumdichte **335 Bäume pro Hektar**, mittlere Baumhöhe **30 m**, mittlerer Brusthöhendurchmesser **33 cm**

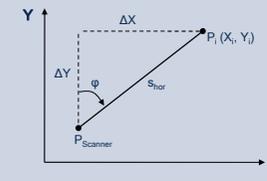
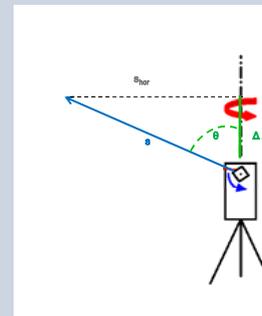


- mäandrierendes Abtasten der Objektoberfläche mit einem ausgesendeten Laserimpuls
- Ablenkung des Laserstrahles:
 - durch einen Motor (horizontal)
 - durch oszillierenden Spiegel, rotierendem Polygonrad, elliptischen Spiegel (vertikal)
- Messen der Horizontal- und Vertikalwinkel sowie der Distanz zu jedem Punkt
- Zusatzinformation: Intensität des reflektierten Laserimpulses

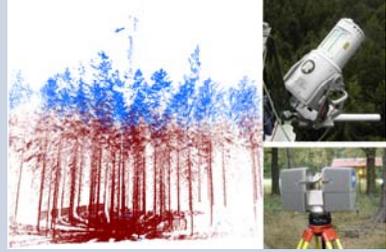
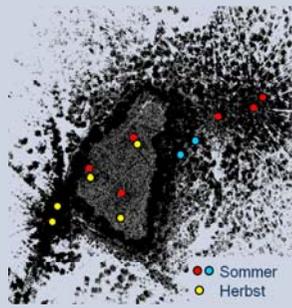


Laserscanner Messprinzip (Callidus)

- 3D Koordinatenberechnung durch polares Anhängen
- Messen von **Schrägstrecke s**, **Horizontalwinkel φ** und **Vertikalwinkel θ**

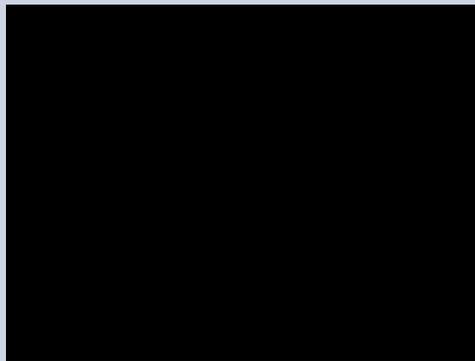
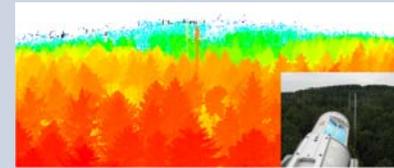


$$\begin{aligned}
 X_i &= X_{\text{Scanner}} + \Delta X & \rightarrow & \Delta X = s_{\text{hor}} \cdot \sin(\varphi) \\
 Y_i &= Y_{\text{Scanner}} + \Delta Y & \rightarrow & \Delta Y = s_{\text{hor}} \cdot \cos(\varphi) \\
 Z_i &= Z_{\text{Scanner}} + \Delta Z & \rightarrow & \Delta Z = s \cdot \cos(\theta)
 \end{aligned}$$



Verknüpfungspunkte

- 13 Aufnahmestandpunkte
- Punktwolke aus 80 Mio. Einzelpunkten
- Verknüpfung der Scans mit künstlichen Targets
- Reichweite Riegl: 800m; Faro: 80 m
- Scanauflösung Riegl: 0.1°; Faro: 0.036°



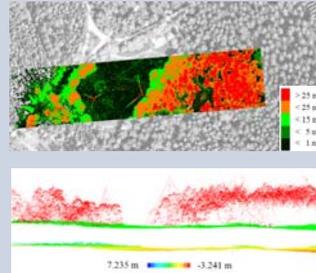
Bestandsbeschreibende Parameter

- Modellierung von Windfeldern in Waldbeständen benötigt Informationen über die Bestandsstruktur

I. DGM und DKM Generierung

II. Automatische Baumerkennung
(Position, BHD, Baumhöhe)

III. Delaunay Triangulation
Mittlerer Baumabstand

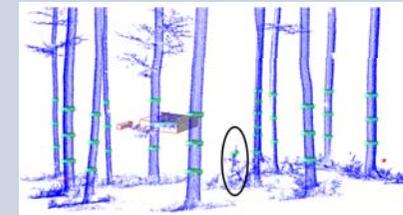


- Modellierung von Windfeldern in Waldbeständen benötigt Informationen über die Bestandsstruktur

I. DGM und DKM Generierung

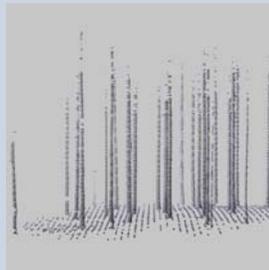
II. Automatische Baumerkennung
(Position, BHD, Baumhöhe)

III. Delaunay Triangulation
Mittlerer Baumabstand

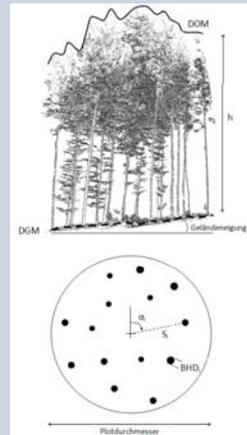


II. Automatische Baumerkennung

- Position, BHD, Baumhöhe, Profile
(Bienert et al., 2006; Mass et al., 2008)



Stammprofile mit DGM

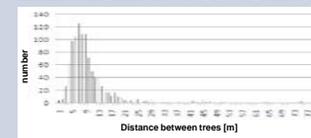


- Modellierung von Windfeldern in Waldbeständen benötigt Informationen über die Bestandsstruktur

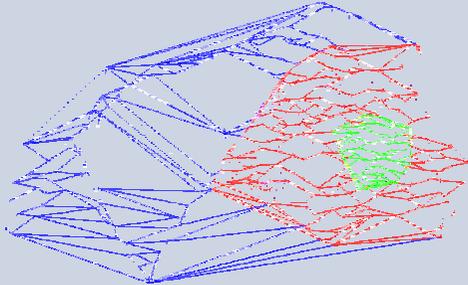
I. DGM und DKM Generierung

II. Automatische Baumerkennung
(Position, BHD, Baumhöhe)

III. Delaunay Triangulation
Mittlerer Baumabstand



III. Delaunay Triangulation

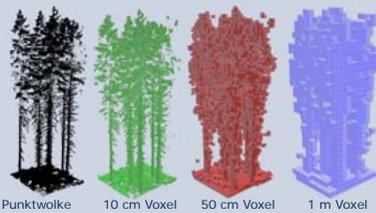
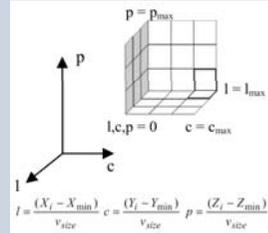


Grün: 447 Bäume pro Hektar
 Rot: 234 Bäume pro Hektar
 Blau: 194 Bäume pro Hektar

Voxel

Voxel

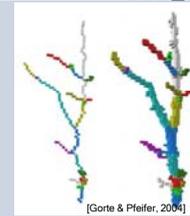
- Würfel an diskreter Position $V(l,c,p)$
- Dimension Voxelraum:
→ Bounding Box und Voxelgröße
- verschiedene Attribute



- wachsende Voxelgröße
→ Generalisierung
→ Voxelgröße = kleinster existierender Ast / Zweig

Voxelräume in forstwissenschaftlichen & forstwirtschaftlichen Fragestellungen:

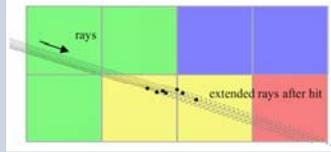
- Rekonstruktion von Stamm- und Asttopologien (Gorte & Pfeifer, 2004; Bucksch & Appel van Wageningen, 2006)
- Bestimmung von vertikalen und horizontalen PAI-Profilen (Henning & Radtke, 2006)
- Analyse von Lebens- und Jagdräumen von Fledermäusen (Aschoff et al., 2006)
- Detektion von Stammabschnitten zur Volumenbestimmung (Lefsky & McHale, 2008)
- Forest fuel modelling (Loudermilk et al., 2007)



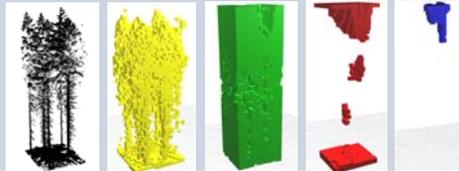
[Gorte & Pfeifer, 2004]

Voxelattribute

- Raytracing: effiziente Methode zum Detektieren von durchgeschossenen und abgeschatteten Voxeln
- Zähler: Treffer, Durchschüsse und Abschattung
- Klassifizierung in 4 Voxelklassen



classes	points	Number of penetrations	occlusions
observed	>0	≥0	≥0
empty	=0	>0	≥0
hidden	=0	=0	>0
unobserved	=0	=0	=0

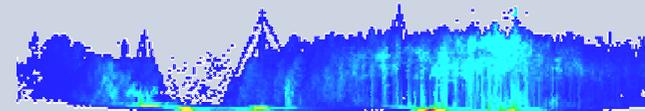


→ Information über die Bestandsstruktur und die abgeschatteten Voxel

Voxelattribute

Bestimmung verschiedener Attribute:

- Zählattribute (Treffer, Durchschuß, Abschattung)
- Reflexionswahrscheinlichkeit
- Schwerpunkt P_0
- Hauptachsen abgeleitet über Eigensysteme
- Begrenzungsbox der im Voxel befindlichen Punkte
- Anzahl der Punktcluster mit ihren Schwerpunkten
- Standardabweichung σ_0



Nach Trefferanzahl kolorierte Punktwolke

Voxelattribute

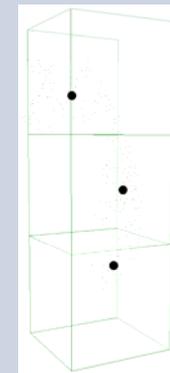
Bestimmung verschiedener Attribute:

- Zählattribute (Treffer, Durchschuß, Abschattung)
- Reflexionswahrscheinlichkeit
- Schwerpunkt P_0
- Hauptachsen abgeleitet über Eigensysteme
- Begrenzungsbox der im Voxel befindlichen Punkte
- Anzahl der Punktcluster mit ihren Schwerpunkten
- Standardabweichung σ_0


Voxelattribute

Bestimmung verschiedener Attribute:

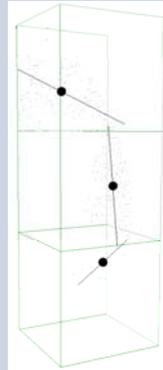
- Zählattribute (Treffer, Durchschuß, Abschattung)
- Reflexionswahrscheinlichkeit
- Schwerpunkt P_0
- Hauptachsen abgeleitet über Eigensysteme
- Bounding Box der im Voxel befindlichen Punkte
- Anzahl der Punktcluster mit ihren Schwerpunkten
- Standardabweichung σ_0



Voxelattribute

Bestimmung verschiedener Attribute:

- Zählattribute (Treffer, Durchschuß, Abschattung)
- Reflexionswahrscheinlichkeit
- Schwerpunkt P_0
- Hauptachsen abgeleitet über Eigensysteme
- Begrenzungsbox der im Voxel befindlichen Punkte
- Anzahl der Punktcluster mit ihren Schwerpunkten
- Standardabweichung σ_0


Voxelattribute

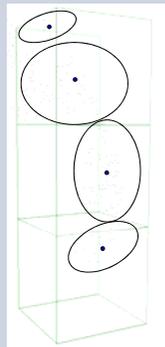
Bestimmung verschiedener Attribute:

- Zählattribute (Treffer, Durchschuß, Abschattung)
- Reflexionswahrscheinlichkeit
- Schwerpunkt P_0
- Hauptachsen abgeleitet über Eigensysteme
- Begrenzungsbox der im Voxel befindlichen Punkte
- Anzahl der Punktcluster mit ihren Schwerpunkten
- Standardabweichung σ_0


Voxelattribute

Bestimmung verschiedener Attribute:

- Zählattribute (Treffer, Durchschuß, Abschattung)
- Reflexionswahrscheinlichkeit
- Schwerpunkt P_0
- Hauptachsen abgeleitet über Eigensysteme
- Begrenzungsbox der im Voxel befindlichen Punkte
- Anzahl der Punktcluster mit ihren Schwerpunkten
- Standardabweichung σ_0


Voxelattribute

Bestimmung verschiedener Attribute:

- Zählattribute (Treffer, Durchschuß, Abschattung)
- Reflexionswahrscheinlichkeit
- Schwerpunkt P_0
- Hauptachsen abgeleitet über Eigensysteme
- Begrenzungsbox der im Voxel befindlichen Punkte
- Anzahl der Punktcluster mit ihren Schwerpunkten
- Standardabweichung σ_0

Voxelsegmentierung

Ziel: lokale Biomasseverteilung pro Baum

I DGM Generierung

- Transformation der DGM Rasterpunkte in Voxelraum
- DGM Voxel = Zellen die DGM Punkte enthalten und deren 26 Nachbarn

II Region Growing

- mit gefülltem Voxelraum, 26er Nachbarschaft
- benachbarte Voxelzellen gehören zu einem Segment


Voxelsegmentierung

Ziel: lokale Biomasseverteilung pro Baum

III Zusammenführung

- Zusammenführung zu einem größeren Segment wenn:
 - 2D-Distanz zweier benachbarter Segment-schwerpunkte kleiner als ein definierter Grenzwert
 - Anzahl n der verbundenen Voxel eines Segmentes kleiner ist als Anzahl im Zielsegment

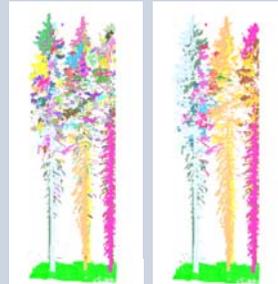

 III
(nach Zusammenführung)

Voxelsegmentierung

- gute Ergebnisse für Nadelbestände, mit nicht überlappenden Kronen
- Probleme: Laubbestände mit dominierenden & ineinandergreifenden Kronen

Beispiel:

- 10 m x 10 m Gebiet mit 6 Fichten
- 73150 gefüllte Voxel (10 cm)
- Region Growing: **3125 Segmente**
- Zusammenführung: **20 Segmente**
(7 große Segmente mit DGM und 6 Bäumen)



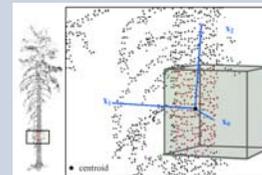
I+II

III

Punktverteilung

Ziel: Klassifizierung von Vegetationselementen innerhalb eines Voxels

- Hauptkomponentenanalyse = Punktverteilung
- Eigenvektor x_k : Orientierung und Richtung
- Eigenwert λ_k : Variation
- ähnliche Eigenwerte = Indikator für isotropische Punktverteilung


 Normierter
Eigenvektor eines
Voxels

$$A = \begin{bmatrix} x_1 - x_0 & x_2 - x_0 & x_3 - x_0 & \dots & x_n - x_0 \\ y_1 - y_0 & y_2 - y_0 & y_3 - y_0 & \dots & y_n - y_0 \\ z_1 - z_0 & z_2 - z_0 & z_3 - z_0 & \dots & z_n - z_0 \end{bmatrix}$$

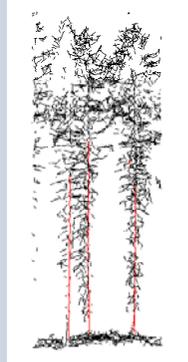
$$C = A^T A$$

$$C \cdot x_k = \lambda_k x_k, \quad k \in \{0, 1, 2\}$$

$$\#C - \lambda_k x_k = 0$$

Beispiel:

- 20 cm Voxelraum
- Hauptrichtung: Eigenvektor x_2 des größten Eigenwertes λ_2
- Näherung der Ast- und Stammstruktur
- kleine Voxelgröße: Eigenvektor x_2 liegt in der Stammoberfläche
- große Voxelgröße: Eigenvektor stellt die Stammrichtung dar



Eigenvektor:
 rot → Stamm,
 schwarz → Äste und Boden

Zusammenfassung

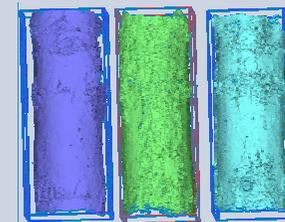
Zusammenfassung

- Methoden zur Analyse der Bestandsstruktur: Gelände- und Kronenmodellierung, Bestandshöhe, Baumdurchmesser und Baumdichte
- Voxelattribute = Näherung für PAD
- Voxelsegmentierung zur lokalen Biomassebestimmung
- lokale Punktverteilungen durch Eigenvektoren



Ausblick

- Verbesserung der Voxelstruktur (Berücksichtigung d. Verdeckungen)
- Anwendung der Voxelstruktur auf einzelne Baumstämme für Simulationen im Windkanal



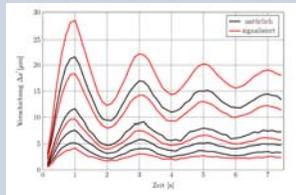
Punktwolken eines Stammabschnittes (3 Ansichten)



3D-Punktwolke Windkanal

Ausblick

- Verbesserung der Voxelstruktur (Berücksichtigung d. Verdeckungen)
- Anwendung der Voxelstruktur auf einzelne Baumstämme für Simulationen im Windkanal
- photogrammetrische Untersuchungen von Baumschwingungen



Quelle: DA Stiel



Quelle: DA Stiel

Danke für Ihre Aufmerksamkeit.

Kontakt:
TU Dresden
Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung
anne.bienert@tu-dresden.de
0351 - 46332645

Fragen ??