



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

# Analyse Fernerkundungs-basierter Modelle für die Stammzahlschätzung mit Fokus auf die Vorprozessierung von LiDAR-Daten

Departement Umweltnaturwissenschaften, D-USYS

Professur für forstliches Ingenieurwesen

Verfasser: Samuel Küng

31. August 2017 (FS 2017)

Referent: Dr. Jochen Breschan

Korreferent: Dr. Leo Bont

## Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, für eine Waldfläche in Bremgarten (AG) ein lineares Regressionsmodell zu erstellen, das den Zusammenhang zwischen der gemessenen (Feldaufnahmen) und geschätzten (Fernerkundung) Stammzahl wiedergibt. Dies wird für drei verschiedenen erzeugte Vegetationshöhenmodelle vorgenommen, um die beste Grundlage zu finden.

Um einen Vergleich mit den realen Stammzahlen überhaupt möglich zu machen, müssen zunächst Bäume auf zahlreichen Probeflächen vermessen und kartografisch festgehalten werden. Dieser Teil der Arbeit wurde von der WSL durchgeführt. Die Rohdaten wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Um diese Daten für einen Vergleich mit den geschätzten Stammzahlen anzuwenden, müssen diese zunächst aufbereitet werden, was im Rahmen dieser Arbeit gemacht wird.

Ebenfalls von der WSL stammen die LiDAR-Rohdaten der Fernerkundung. Damit diese Daten auch für Modellberechnungen verwendet werden können, müssen diese ebenfalls bearbeitet werden. Das heisst, es werden daraus verschiedene Höhenmodelle abgeleitet. Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten Vegetationshöhenmodelle zu berechnen und somit unterschiedliche Datengrundlagen für eine Einzelbaumdetektion. Die 3 hier verwendeten Vegetationshöhenmodelle unterscheiden sich in einer jeweils unterschiedlichen Anfertigung und in den Algorithmen.

Mit den 3 verschiedenen Vegetationshöhenmodellen wird je eine Einzelbaumdetektion im Perimeter der Probeflächen durchgeführt. Dabei werden lokale Maxima (Erhöhungen in einem gewissen Bereich) aus den Vegetationshöhenmodellen ausgelesen, die als Baumspitzen angenommen werden. Zusätzlich werden statistische Werte (z.B. mittlere Baumhöhe) abgeleitet um diese später als erklärende Variablen in die statistische Modellierung einfließen zu lassen.

In einer einfachen linearen Regression wird zunächst der Zusammenhang zwischen gemessener und geschätzter Stammzahl untersucht.

Als beste Grundlage für die Schätzung der Stammzahl dient das VHM, das mit dem pitfree-Algorithmus generiert wurde, auch wenn ein Bestimmtheitsmass ( $R^2$ ) von 0.145 und ein RMSE von 281.01 eher bescheiden sind. Jedoch ist eine hohe Signifikanz für die geschätzte Stammzahl im Modell zu beobachten.

In einer weiterführenden multiplen linearen Regression wird dann versucht ob statistische Parameter zu den detektierten Baumhöhen, der terrestrische Nadelbaumanteil und Geomorphometrien als erklärende Variablen die Schätzung der Stammzahl verbessern können.

Mit einer multiplen linearen Regression konnte das Modell aus der einfachen linearen Regression durch zusätzliche erklärende Variablen und Wechselwirkungen zu einem Bestimmtheitsmass ( $R^2$ ) von 0.427 und einem RMSE von 191.52 verbessert werden. Besonders signifikante erklärende Variablen sind der terrestrische Nadelbaumanteil und Wechselwirkungen zwischen geschätzter Stammzahl und Schichtung des Bestandes. Die geomorphometrischen Parameter sowie die mittlere Neigung und die mittlere Exposition hingegen haben bei keinem Modell einen signifikanten Einfluss.

Somit steht abschliessend ein Modell bereit, das nicht unbedingt die Genauigkeit für eine praktische Anwendung hat. Jedoch kann es zur Entwicklung weiterer und verbesserter Modelle beitragen um die präzisere Ermittlung von Stammzahlen aus Vegetationshöhenmodellen zu erreichen. Ebenfalls muss erwähnt sein, dass dieses Modell (wenn überhaupt) explizit für dieses Untersuchungsgebiet gebraucht werden soll und nicht für Generalisierungen auf andere Bestände geeignet ist.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
1 Einführung.....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Ziel / Forschungsfragen.....	1
1.3 Aufbau.....	2
2 Grundlagen.....	3
2.1 LiDAR (Light Detection and Ranging).....	3
2.2 Varianten von Vegetationshöhenmodellen.....	4
2.2.1 Vegetationshöhenmodell traditionell.....	4
2.2.2 Vegetationshöhenmodell pitfree.....	5
2.2.3 Vegetationshöhenmodell spikefree.....	6
2.2.4 Grafischer Vergleich.....	7
3 Methoden.....	8
3.1 Untersuchungsgebiet.....	8
3.2 Daten.....	9
3.2.1 Terrestrische Feldaufnahmen.....	9
3.2.2 LiDAR-Daten.....	11
3.2.3 Datenmanagement.....	11
3.3 Bearbeitung der Feldaufnahmedaten.....	12
3.4 Bearbeitung der LiDAR-Daten.....	15
3.4.1 Allgemeine Punkte.....	15
3.4.2 Verwendete LAStools.....	16
3.4.3 Berechnung Digitales Terrain Modell.....	17
3.4.4 Berechnung Digitales Oberflächen Modell, traditionell.....	18
3.4.5 Berechnung Digitales Oberflächen Modell, spikefree.....	18
3.4.6 Berechnung Vegetationshöhenmodell. traditionell.....	18
3.4.7 Berechnung Vegetationshöhenmodell, pitfree.....	19
3.4.8 Berechnung Vegetationshöhenmodell, spikefree.....	20
3.5 Extraktion der erklärenden Variablen.....	20
3.5.1 Einzelbaumdetektion (EBD).....	20
3.5.2 Geschätzte Stammzahl und Statistiken der Baumhöhe.....	21
3.5.3 Nadelbaumanteil terrestrisch (NAterr).....	22

---

3.5.4 Geomorphometrische Daten (Geom) .....	22
3.6 Statistische Modellierung.....	23
3.6.1 Einfache Lineare Regression (SLR).....	24
3.6.2 Multiple lineare Regression (MLR) .....	24
3.6.3 Variablenselektion.....	25
3.6.4 Interpretation .....	25
3.6.5 Kriterien zum Vergleich der Modellgüte .....	25
3.6.6 Statistiksoftware R.....	26
4 Resultate.....	27
4.1 Bearbeitung der terrestrischen Daten .....	27
4.2 Extraktion der erklärenden Variablen .....	30
4.2.1 Einzelbaumdetektion (EBD).....	30
4.3 Auswertung der einzelnen Modelle .....	32
4.3.1 Modell 1, VHM-basierte Daten .....	33
4.3.2 Modell 2, VHM + NATerr-basierte Daten.....	39
4.3.3 Modell 3, VHM + NATerr + Geom-basierte Daten .....	41
4.4 Gesamtübersicht der Modelle.....	42
5 Diskussion .....	44
5.1 Variantenvergleich .....	44
5.2 Überschätzung der Stammzahl in der Einzelbaumdetektion .....	44
5.2 Schwierigkeiten .....	46
5.3 Empfehlung für die Praxis .....	47
6 Ausblick.....	47
Literatur .....	48
Vorlesungen und workshops .....	50
Geodatenquellen.....	50
Bildquellen.....	50
Anhang .....	51
Anhang 1: Abschlussbericht über die Befliegung des Untersuchungsgebietes .....	51
Anhang 2: Löschprotokoll terrestrische Feldaufnahmen.....	64
Anhang 3: Protokollierung LAStools.....	65
Anhang 4: GIS-Modell der Einzelbaumdetektion .....	71
Anhang 5: MATLAB-Skript .....	77
Anhang 6: GIS-Modell der Extraktion geomorphometrischer Parameter .....	78
Anhang 7: R-Code, statistische Modellierung .....	81
Anhang 8: Modellsummarys, Plots und Korrelationsmatrizen .....	89
Eigenständigkeitserklärung ETH Zürich .....	102