

# Eine Vergleichsstudie zum Einsatz terrestrischer Laserscans und Luftbilder in Forstinventuren

Rafael Reisenhofer\*<sup>1</sup>, Matthias Haselmann<sup>1</sup>, Elias Kimmel<sup>2</sup>, Christoph Gollob<sup>2</sup>, und Arne Nothdurft<sup>2</sup>

<sup>1</sup>palos GmbH, Schillerstraße 30, Salzburg, Österreich

<sup>2</sup>Institut für Waldwachstum, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Wien, Österreich

15. Januar 2025

## Zusammenfassung

Forstinventuren sind essentielle Werkzeuge für die nachhaltige Forstwirtschaft und das Monitoring von Wäldern. Diese Arbeit vergleicht zwei innovative Technologien – terrestrische Laserscans und luftbildgestützte Verfahren – anhand ihrer Anwendung im komplexen Referenzwaldgebiet Sparbach (46 ha). Das Gebiet ist durch hohe Heterogenität und dominierenden Laubbaumbestand gekennzeichnet. Ziel der Studie ist es, die Genauigkeit und den Aufwand beider Verfahren zu bewerten und Empfehlungen für ihre praktische Anwendung zu geben.

## 1 Einleitung

Forstinventuren sind eine grundlegende Methode zur Erfassung von Informationen über Struktur, Zusammensetzung und Vorrat von Wäldern. Traditionell basieren sie auf manuellen Stichprobenerhebungen, die jedoch ressourcenintensiv sind und mit einer begrenzten Genauigkeit einhergehen. Eine präzise Erfassung von Bestandsdaten ist jedoch entscheidend für fundierte Entscheidungen in der Forstwirtschaft.

Neu entwickelte Technologien wie terrestrische Laserscans (TLS) [1] und die Auswertung hochaufgelöster Luftbilder [2, 3] bieten vielversprechende Alternativen. Diese Verfahren ermöglichen eine detaillierte Erfassung von Baumhöhen, Arten und Bestandsvolumen.

In dieser Studie werden beide Ansätze anhand eines Referenzwaldgebiets in Sparbach, das durch seine hohe Baumartenvielfalt und Heterogenität charakterisiert ist, verglichen. Ziel ist es, die Eignung der Methoden zur Erstellung präziser Forstinventuren zu bewerten.

## 2 Methoden

Die Untersuchungen fanden 2024 im Referenzwaldgebiet Sparbach statt, das eine Gesamtfläche von 46 ha umfasst. Es wurden drei verschiedene Forstinventurverfahren auf insgesamt 23 Teilflächen angewendet.

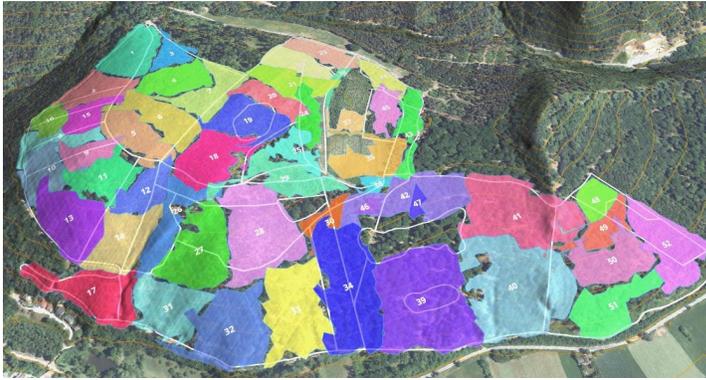
### 2.1 Personal Laser Scanning (PLS)

In dieser Studie wurde als Referenz die Methode des Personal Laser Scanning (PLS) angewendet (siehe Abbildung 1), wie sie in Gollob et al., 2020 [1] beschrieben ist. Dabei wurde eine georeferenzierte Punktwolke erstellt, aus der Einzelbäume segmentiert und ihre Höhen, Baumarten und Brusthöhendurchmesser (BHD) abgeleitet wurden.

Die Baumartenklassifizierung erfolgte in einem zweistufigen Ansatz: Manuelle Begehungen dienten dazu, Daten zu sammeln, die verwendet wurden, um Trainingsdaten für ein Machine Learning Modell auf der Basis von Random Forests zu generieren. Dieses ermöglichte die algorithmische Klassifizierung der verbleibenden Teilflächen. Das Baumvolumen wurde nach folgender Formel berechnet:

---

\*rafael.reisenhofer@palos-platform.com



(a) Bereiche der einzelnen Aufnahmen.



(b)

Abbildung 1: Im Referenzwaldgebiet wurde eine von der BOKU Wien entwickelte Forstinventur mit einem Personal Laser Scanner (PLS) durchgeführt.

$$\text{Volumen} = \text{Grundfläche} \times \text{Höhe} \times \text{Formzahl.}$$

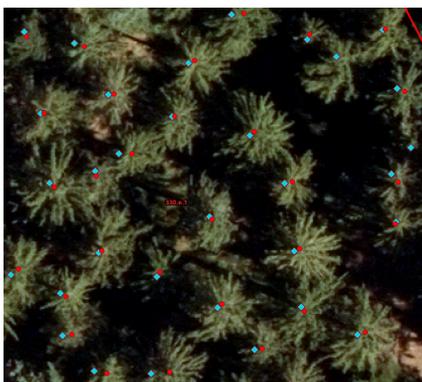
Die Formzahl wird dabei nach Pollanschütz ermittelt [4].

## 2.2 Stichproben-basierte Forstinventur

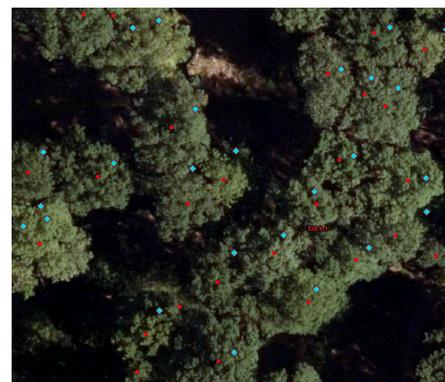
Im Referenzwaldgebiet wurden 28 Stichprobenkreise mit einem LiDAR-fähigen Smartphone und der Arboreal App<sup>1</sup> aufgenommen. Dies entspricht durchschnittlich 0,6 Stichproben pro Hektar. Jede Teilfläche wurde mindestens einmal beprobt. Die Genauigkeit von LiDAR-basierten Messungen wurde bereits mehrfach untersucht [5, 6].

Innerhalb der Kreise wurde der BHD aller Bäume ermittelt, und für jede Baumart wurde die Höhe eines Zentralstamms gemessen. Die Einheitshöhenkurve erlaubte die Ableitung der Höhe für alle Bäume der Stichprobe. Das Baumvolumen wurde analog zur PLS-Methode berechnet. Vorräte und Baumzahlen wurden schließlich auf die Flächen hochgerechnet.

## 2.3 Luftbild-gestützte Forstinventur



(a) Nadelwald



(b) Laubwald

Abbildung 2: Vergleich der im Luftbild (rote Punkte) und per terrestrischem Laserscanner (blaue Rauten) lokalisierten Einzelbäume (Höhe > 18 m).

Die luftbildgestützte Forstinventur basiert auf hochaufgelösten Luftbildern (10 cm, RGBI) und einem Geländemodell. Sichtbare Bäume wurden hinsichtlich Höhe und Typ (Nadel- oder Laubbaum)

<sup>1</sup><https://arboreal.se/>

klassifiziert. Die Methodik verwendet neuronale Netze zur Lokalisierung und Klassifizierung der Bäume. Zusätzliche Daten aus den Stichproben erlaubten die Ableitung des BHD über invertierte Einheitshöhenkurven.

Das Baumvolumen wurde wie bei den anderen Verfahren berechnet, und aggregierte Werte wurden zur Forstinventur zusammengefasst.

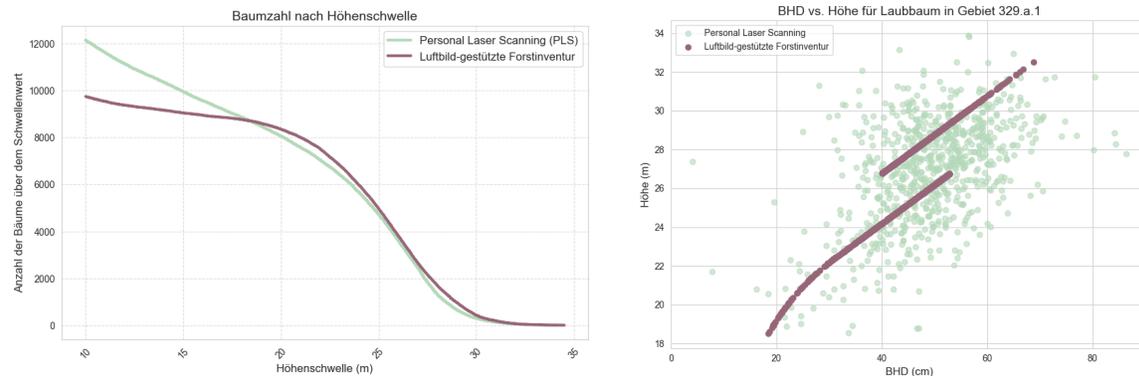
### 3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Vergleichsstudie verdeutlichen die unterschiedlichen Stärken und Schwächen der eingesetzten Forstinventurmethoden. Tabelle 1 zeigt die Genauigkeit der Bestimmung von Baumzahl und Vorrat für alle drei Verfahren, wobei die PLS-basierte Inventur als Referenz herangezogen wird.

Tabelle 1: Evaluierung der Forstinventuren hinsichtlich Baumzahl und Vorrat

Höhenschwelle: 18,57 m (95 % des Vorrats)				
Method	Bäume	Abweichung	Vorrat	Abweichung
Personal Laser Scanning (PLS)	8.656	-	12.373 Vfm	-
Stichproben	11.318	2.662 (31%)	16.232 Vfm	3.859 (31%)
Luftbild-gestützte Forstinventur	8.683	27 (0%)	13.581 Vfm	1.209 (10%)

Die Ergebnisse zeigen, dass die Luftbild-gestützte Methode sowohl bei der Baumzahl als auch beim Vorrat eine deutlich höhere Genauigkeit erreicht als die Stichproben-basierte Methode. Bei der Baumzahl ist zur PLS-Referenz so gut wie keine Abweichung festzustellen, während der Vorrat um etwa 10% abweicht. Die Ergebnisse der Stichproben-basierten Inventur sind dagegen jeweils 31% von der PLS-Referenz entfernt. Abbildung 3a illustriert die Übereinstimmung der Baumzahl für unterschiedliche Höhenschwellen.



(a) Vergleich der Baumzahl bei verschiedenen Höhenschwellen.

(b) Vergleich von terrestrisch mit Hilfe des Laserscanners gemessenen (Höhe, BHD)-Paaren und in der luftbildgestützten Forstinventur verwendeten Werte. Während die Höhe in der luftbildgestützten Forstinventur aus dem Luftbild abgeleitet werden kann muss zur Bestimmung des BHDs das Höhe-BHD-Verhältnis von Zentralstämmen herangezogen werden.

Abbildung 3

Die luftbildgestützte Methode weist eine hohe Zuverlässigkeit bei der Ableitung der Baumzahl und der Höhenverteilung auf. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass selbst bei heterogenen Waldgebieten der Vorrat und die Baumzahl mit dieser Methode relativ präzise bestimmt werden können.

## 4 Diskussion

Die Untersuchung zeigt, dass luftbildgestützte Forstinventuren eine vielversprechende Alternative zu klassischen Methoden darstellen. Selbst bei komplexen und heterogenen Waldgebieten können hohe Genauigkeiten bei der Bestimmung der Baumzahl und des Vorrats erzielt werden.

Eine Einschränkung der Luftbildmethodik ist die fehlende Erfassung von Bäumen in unteren Schichten, die aus der Luft nicht sichtbar sind. Hier bietet die Integration terrestrischer Daten, wie etwa aus PLS oder stichprobenbasierten Verfahren, eine effektive Lösung. Die Modellierung von Zusammenhangsvariablen wie Höhe und BHD bleibt jedoch eine Herausforderung, da diese in der Praxis mit hoher Varianz behaftet sind (siehe Abbildung 3b).

Zukünftige Arbeiten sollten sich auf die Weiterentwicklung von Algorithmen zur Baumartenerkennung sowie auf die Verbesserung von Modellen zur Vorhersage von BHD und Volumen konzentrieren. Die Integration von Fernerkundungs- und Geländedaten könnte die Genauigkeit und Effizienz dieser Ansätze weiter steigern.

## Literatur

- [1] Christoph Gollob, Tim Ritter, and Arne Nothdurft. Forest inventory with long range and high-speed personal laser scanning (PLS) and simultaneous localization and mapping (SLAM) technology. *Remote Sensing*, 12(9):1509, 2020.
- [2] Lin Yang, Xiaqing Wu, Emil Praun, and Xiaoxu Ma. Tree detection from aerial imagery. In *Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL international conference on advances in geographic information systems*, pages 131–137, 2009.
- [3] Ben G Weinstein, Sergio Marconi, Méline Aubry-Kientz, Gregoire Vincent, Henry Senyondo, and Ethan P White. DeepForest: A python package for RGB deep learning tree crown delineation. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(12):1743–1751, 2020.
- [4] J Pollanschütz. Formzahlfunktionen der Hauptbaumarten Österreichs. *Allgemeine Forstzeitung*, 1974.
- [5] Stelian Alexandru Borz, Jenny Magali Morocho Toaza, and Andrea Rosario Proto. Accuracy of two LiDAR-based augmented reality apps in breast height diameter measurement. *Ecological Informatics*, 81:102550, 2024.
- [6] Christoph Gollob, Tim Ritter, Ralf Kraßnitzer, Andreas Tockner, and Arne Nothdurft. Measurement of forest inventory parameters with apple iPad pro and integrated LiDAR technology. *Remote Sensing*, 13(16):3129, 2021.