

# Möglichkeiten der Schätzung von Bestandesoberhöhen und des Holzvorrats auf der Grundlage von digitalen Stereo-Luftbildern – ein Vergleich mit flugzeuggetragenen Laserscannerdaten

Christoph Straub, Rudolf Seitz

Abteilung Informationstechnologie  
Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
D-85354 Freising  
Christoph.Straub@lwf.bayern.de  
Rudolf.Seitz@lwf.bayern.de

**Abstract:** Diese Studie befasst sich mit der Schätzung von Bestandesoberhöhen und des Holzvorrats von Waldbeständen auf der Grundlage von amtlichen Stereo-Luftbildern und flugzeuggetragenen Laserscannerdaten. Aus beiden Fernerkundungsdatensätzen wurden hochaufgelöste Vegetationshöhenmodelle abgeleitet. Über lineare Regressionen wurden Zusammenhänge zwischen Höhenmetriken sowie einem abgeleiteten Überschirmungsgrad aus den Höhenmodellen mit terrestrischen Messungen an Stichprobenpunkten der Waldinventur im Stadtwald Traunstein untersucht. Das Untersuchungsgebiet ist durch sehr strukturreiche Waldbestände gekennzeichnet. Sowohl für die Laserdaten als auch für die Stereo-Luftbilder konnten geeignete Modelle zur Schätzung der Oberhöhe und des Holzvorrats hergeleitet werden. Für die Laserdaten wurden hierbei etwas geringere Schätzfehler festgestellt. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen jedoch, dass Stereo-Luftbilder in derselben Weise wie Laserscannerdaten zur flächendeckenden Schätzung forstlicher Kenngrößen eingesetzt werden können.

## 1. Einleitung

Die Abteilung Informationstechnologie der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) befasst sich mit Möglichkeiten der semi-automatischen Extraktion von dendrometrischen und waldschutzrelevanten Kenngrößen aus aktuell verfügbaren, amtlichen Luftbildern. Ziel ist die Bereitstellung von Planungs- und Beratungsgrundlagen für die forstliche Praxis. Die Untersuchungen sind Bestandteil des Projekts SAPEX-DLB (semi-automatische Parameterextraktion aus digitalen Luftbildern). Eine wichtige Zielsetzung ist die Verwendung von Fernerkundungsdaten als Hilfsmittel zur flächendeckenden Schätzung von forstlichen Kenngrößen bzw. zur Regionalisierung von Waldinventuren. Zu diesem Zweck werden in Norwegen bereits seit dem Jahre 2002 Laserscannerdaten operational eingesetzt [Næ07]. Nachteilig sind allerdings die höheren

Befliegungskosten der Lasermessung im Vergleich zu einer Luftbildbefliegung. In Bayern werden Luftbilder vom Landesamt für Vermessung und Geoinformation (LVG) in einem dreijährigen Befliegungszyklus aktualisiert, wohingegen eine periodische Aktualisierung der amtlichen Laserscannerdaten derzeit nicht geplant ist. Da Luftbilder somit eine nachhaltige Datenquelle für die Bayerische Forstverwaltung sind, wurden in dieser Studie digitale Stereo-Luftbilder zur Schätzung von Bestandesoberhöhen und des Holzvorrats untersucht.

## 2. Untersuchungsgebiet und Fernerkundungsdaten

Die Untersuchung wurde im Stadtwald Traunstein durchgeführt. Die ausgewählte Waldfläche hat eine Größe von 238 Hektar und ist durch sehr strukturreiche Waldbestände charakterisiert. Die häufigsten Baumarten sind: Fichte (49%), Buche (21%), Tanne (15%), Esche (5%) und Bergahorn (4%). Vom LVG wurden digitale Stereo-Luftbilder (Befliegungszeitpunkt: 2009) mit 4 Farbkanälen und einer Bodenauflösung von 20 cm sowie flugzeuggetragene Laserscannerdaten (Befliegungszeitpunkt: 2010) mit einer Punktdichte von 5...6 Punkten / m<sup>2</sup> bereitgestellt. Außerdem wurden vom Lehrstuhl Waldwachstumskunde der TU München 228 Stichprobenpunkte der betriebsweisen Forstinventur (mit einem regelmäßigen Abstand von 100 m × 100 m) aus dem Jahre 2008 zur Verfügung gestellt. An jeder Stichprobenposition erfolgte die Messung von Einzelbäumen in konzentrischen Probekreisen mit unterschiedlichen Kluppschwellen. Eine detaillierte Beschreibung der Aufnahmemethodik findet sich in [Ba96]. Der größte Kreis, der als Bezugsfläche für die Auswertungen in dieser Studie verwendet wurde, hat eine Flächengröße von 500 m<sup>2</sup>. An jedem Stichprobenpunkt wurde eine Bestandesoberhöhe  $OH$  [m] sowie das gesamte Derbholzvolumen in Erntefestmetern  $V$  [m<sup>3</sup>/ha] modelliert. Aufgrund der zeitlichen Differenz zwischen den Feldmessungen der Inventur und der Aufnahme der Fernerkundungsdaten, wurde an drei Inventurpunkten eine deutliche Veränderung in der Waldstruktur (z.B. durch Holzernte oder Sturmwurf) festgestellt. Diese Punkte wurden deshalb aus dem Datensatz entfernt. Tabelle 1 verdeutlicht die hohe Variabilität der Kenngrößen  $OH$  und  $V$  im Untersuchungsgebiet.

Kenngröße	Mittelwert	Standardabweichung	Min	Max
Bestandesoberhöhe $OH$ [m]	27,23	10,20	1,50	42,30
Holzvolumen $V$ [m <sup>3</sup> /ha]	321,99	225,60	0,00	968,40

Tabelle 1: Variabilität der Kenngrößen  $OH$  und  $V$  im Untersuchungsgebiet Traunstein (berechnet mit 225 Stichprobenpunkten der Forstinventur)

## 3. Methodik

Sowohl aus den Laserdaten als auch aus den Stereo-Luftbildern wurden hochaufgelöste, digitale Oberflächenmodelle (DOM) der Baumkronenoberflächen abgeleitet. Um aus Luftbildern ein DOM berechnen zu können, muss zuerst eine photogrammetrische

Punktwolke über ein Image-Matching-Verfahren hergeleitet werden. Hierfür wurde die Software ERDAS LPS eATE mit einem Algorithmus zur Generierung von dichten 3D

Punktwolken aus Stereobildern eingesetzt. Die Berechnung eines DOM mit 1 m Auflösung erfolgte sowohl für die photogrammetrische als auch für die Laserscanning-Punktwolke mit der Software TreesVis. Durch Subtraktion eines Laserscanning-Geländemodells des LVG war es für beide Fernerkundungsdatensätze möglich, ein Vegetationshöhenmodell bzw. ein normalisiertes digitales Oberflächenmodell (nDOM) abzuleiten. Eine detailliertere Beschreibung der Vorgehensweise findet sich in [SS11]. Zur Charakterisierung der Vegetationshöhen, an jedem kreisförmigen Inventurpunkt, wurden mehrere Lagemaße der Höhenverteilung bzw. die Quantilen  $h_{50}$ ,  $h_{60}$ ,  $h_{70}$ ,  $h_{80}$ ,  $h_{90}$  und der Maximalwert  $h_{max}$  sowie der arithmetische Mittelwert  $h_m$  berechnet. Außerdem wurde der Überschirmungsgrad  $\ddot{U}G$  über das Verhältnis von klassifizierten „Baumkronenpixeln“ zur Gesamtfläche des Inventurpunkts hergeleitet. Die Erfassung der potentiellen Baumkronenfläche erfolgte über einen Höhenschwellwert von 2 Metern. Zur Beurteilung des Zusammenhangs zwischen den terrestrischen Merkmalen  $OH$  und  $V$  mit den fernerkundlichen Variablen aus den Höhenmodellen wurden lineare Regressionen mit schrittweiser Variablenauswahl durchgeführt. Die Beurteilung der Modellgüte erfolgte über den (multiplen) Korrelationskoeffizient  $R$  bzw. das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  sowie über den absoluten  $RMSE$  und  $Bias$ , welche über eine Leave-One-Out-Kreuzvalidierung berechnet wurden.

## 4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Regressionsanalyse für die Schätzung der Oberhöhe und Tabelle 3 für die Schätzung des Holzvorrats. Dargestellt ist jeweils die verwendete Datengrundlage, das Regressionsmodell mit der Reihenfolge der selektierten Variablen sowie  $R$ ,  $R^2$ ,  $RMSE$  und  $Bias$ .

Datengrundlage	Modell	$R$	$R^2$	$RMSE$ [m]	$Bias$ [m]
Laserdaten	$0,810h_{90} + 0,217h_{max} + 0,852$	0,92	0,84	4,16	-0,011
Luftbilder	$0,861h_{90} + 5,978$	0,88	0,77	5,00	-0,003

Tabelle 2: Schätzung der Bestandesoberhöhe  $OH$  auf Grundlage von Laser- und Luftbildvariablen

Datengrundlage	Modell	$R$	$R^2$	$RMSE$ [m <sup>3</sup> /ha]	$Bias$ [m <sup>3</sup> /ha]
Laserdaten	$24,968h_m - 1,430\ddot{U}G - 0,432$	0,84	0,71	122,46	0,015
Luftbilder	$18,588h_m - 28,618$	0,81	0,65	134,28	0,045

Tabelle 3: Schätzung des Holzvorrats  $V$  auf Grundlage von Laser- und Luftbildvariablen

Sowohl für die Laserdaten als auch für die Stereo-Luftbilder konnten geeignete Regressionsmodelle zur Schätzung der Oberhöhe und des Holzvorrats hergeleitet werden. Obwohl für die Laserdaten etwas geringere Schätzfehler berechnet wurden, können Stereo-Luftbilder genauso zur flächendeckenden Schätzung forstlicher Kenngrößen eingesetzt werden, da in beiden Fällen der Schätzfehler ( $RMSE$ ) der Modelle zur Vorhersage von  $OH$  und  $V$  deutlich geringer ist als die Standardabweichung der Feldmessungen. Da die

vorliegende Untersuchung in einer sehr heterogenen Waldfläche durchgeführt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass in weniger strukturreichen Wäldern geringere Schätzfehler zu erwarten sind. Bei homogenen Waldverhältnissen würde sich u.a. bei der Koregistrierung von Fernerkundungsdaten mit den Feldmessungen der Lagefehler der Inventurpunkte weniger stark auswirken. Sehr auffällig ist, dass die Zusammenhänge von Luftbild- und Laservariablen mit den terrestrischen Merkmalen sehr ähnlich sind. In beiden Fällen ist die Quantile  $h_{90}$  am höchsten mit der Bestandesoberhöhe korreliert. Außerdem ist der arithmetische Mittelwert  $h_m$  in beiden Fällen der wichtigste Prädiktor zur Schätzung des Derbholtzvolumens. Im Falle der Laserdaten wurde zusätzlich die Variable  $\dot{U}G$  in das Modell zur Schätzung des Holzvorrats aufgenommen, was plausibel erscheint, da  $\dot{U}G$  als ein Maß für die Flächenbesetzung durch die Bäume einen offensichtlichen Zusammenhang mit dem Holzvorrat hat. Im Falle der Stereo-Luftbilder wurde  $\dot{U}G$  allerdings nicht selektiert, was sich dadurch begründen lässt, dass mit Laserpunkten eine etwas detailliertere Modellierung der Überschildung möglich ist [SS11]. Selbst sehr kleine Lücken können mit der Lasermessung erfasst werden, was mit Stereo-Luftbildern häufig erst ab einer gewissen Flächengröße möglich ist.

## 5. Schlussfolgerung und Ausblick

In dieser Studie konnten erste Ansätze zur Schätzung der Bestandesoberhöhe und des Holzvorrats auf der Grundlage von amtlichen Stereo-Luftbildern aufgezeigt werden. Durch die Verknüpfung von Stereo-Luftbildern mit forstlichen Inventurdaten könnten deshalb in Zukunft flächendeckende Aussagen von forstlichen Kenngrößen ermöglicht werden. In zukünftigen Arbeiten wird diese Vorgehensweise in weiteren Versuchsflächen mit unterschiedlicher Waldstruktur und Topographie untersucht. Eine Optimierung der Schätzung wäre wahrscheinlich durch die zusätzliche Verwendung der spektralen Information der Luftbilder in den Regressionen erreichbar. Darüber hinaus könnten zusätzliche erklärende Variablen direkt aus der photogrammetrischen Punkt-wolke abgeleitet werden. Außerdem werden in zukünftigen Studien alternative Schätzmethoden wie z.B. kNN (k-Nearest-Neighbor) getestet.

## Literaturverzeichnis

- [Ba96] Ergänzende vorläufige Aufnahmeanweisung für die Wiederholungsaufnahme von permanenten Stichproben unter Verwendung von EG-20-Aufnahmeggeräten. Bayerische Staatsforsten, 1996.
- [Næ07] Næset, E.: Airborne laser scanning as a method in operational forest inventory: status of accuracy assessments accomplished in Scandinavia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 22, 2007; S. 433-442.
- [SS11] Straub, C.; Seitz, R.: Möglichkeiten der automatisierten Generierung von Oberflächenmodellen in Waldgebieten aus digitalen Luftbildern. *DGPf Tagungsband 20, 2011*; S. 153-161.