

Dreidimensionale Vermessung von Wäldern aus dem Flugzeug

Wissenschaftler der LWF berechnen aus Stereo-Luftbildern 3D-Modelle von Wäldern

Christoph Straub, Rudolf Seitz und Armin Troycke

Die Arbeitsgruppe Fernerkundung der LWF befasst sich gegenwärtig mit der automatisierten Berechnung von 3D-Modellen in Waldgebieten auf der Grundlage digitaler Stereo-Luftbilder der Bayerischen Vermessungsverwaltung. Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen, dass die Luftbilder zur dreidimensionalen Erfassung von Wäldern genutzt werden können. Die daraus gewonnenen Informationen können für vielfältige forstliche Anwendungen verwendet werden, zum Beispiel als Hilfsmittel zur Bestimmung der Größe von Waldflächen, zur Abgrenzung und Beschreibung von Waldbeständen sowie zur Schätzung dendrometrischer Kenngrößen wie beispielsweise des Holzvorrats.

Die stetig voranschreitenden technischen Entwicklungen im Bereich der Fernerkundung führen zu immer genaueren Höheninformationen der Erdoberfläche. Hierzu zählen digitale Stereo-Luftbildaufnahmetechniken und Lasermessverfahren. Beide Technologien ermöglichen die dreidimensionale Modellierung von Landschaften. Wissenschaftler der Abteilung Informationstechnologie der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) nutzen diese Fernerkundungstechniken zur dreidimensionalen Vermessung von Wäldern. Im Moment werden hierfür hochaufgelöste, digitale Luftbilder des Landesamts für Vermessung und Geoinformation Bayern (LVG) getestet. Diese Daten werden in einem dreijährigen Befliegungszyklus aktualisiert und stehen der Bayerischen Forstverwaltung über eine Ressortvereinbarung regelmäßig und nachhaltig zur Verfügung. Untersucht wird, ob aus den 3D-Modellen waldkundliche und waldschutzrelevante Kenngrößen abgeleitet werden können, mit dem Ziel eine verbesserte Datengrundlage für die Beratung und Förderung der Waldbesitzer zu schaffen. Die Untersuchungen sind Bestandteil des Projekts SAPEX-DLB: »Semi-automatisierte Parameterextraktion aus digitalen Luftbildern«.

Digitale Stereo-Luftbilder zur dreidimensionalen Erfassung von Wäldern

Luftbilder werden aus Flugzeugen mit speziellen, digitalen Kamerasystemen aufgenommen. Als hochaufgelöstes fotografisches Abbild (20 cm Auflösung) der Landschaft sind Luftbilder für zahlreiche Anwendungen in der Forstwirtschaft von großem Wert.

Seit 2009 werden vom LVG digitale Befliegungstechniken eingesetzt. Die hierbei erzeugten digitalen Luftbilder können stereoskopisch bzw. dreidimensional ausgewertet werden. Dies wird durch die Verwendung zweier oder mehrerer zueinander orientierter Bilder ermöglicht, die von unterschiedlichen Aufnahmeorten in Flugrichtung fotografiert worden sind. Die stereoskopische Auswertung kann zur Höhenmessung von Objekten in der Landschaft bzw. zur Berechnung von 3D-Modellen genutzt werden. In Waldgebieten kann hierbei

Automatisierte Berechnung von Oberflächenmodellen

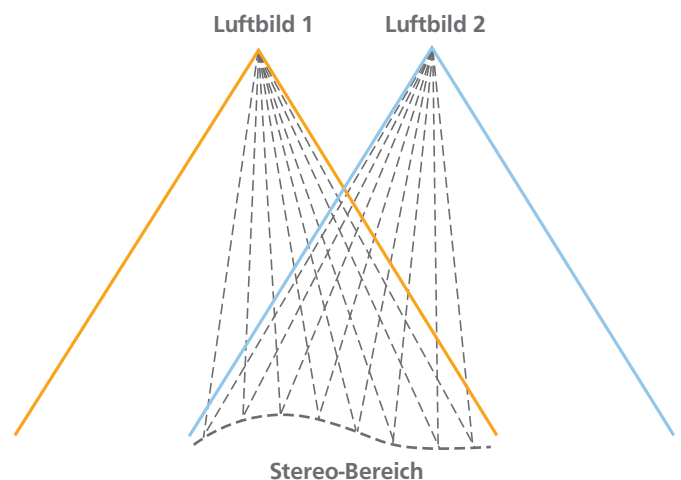


Abbildung 1: Verwendung von zwei (oder auch mehreren) zueinander orientierten Luftbildern aus unterschiedlichen Aufnahmeorten zur dreidimensionalen Erfassung der Landschaft über die Bestimmung homologer Punkte in den Bildern

ein Modell der *Baumkronenoberfläche* generiert werden. Zur effizienten, dreidimensionalen Erfassung stehen dafür innovative, computerbasierte bzw. automatisierte Berechnungsmethoden zur Verfügung. Das grundsätzliche Prinzip der Ableitung von Höheninformationen aus Stereo-Luftbildern wird in Abbildung 1 dargestellt. Im Überlappungsbereich (Stereo-Bereich) der Bilder ist die Bestimmung von dreidimensionalen Punkten bzw. die automatisierte Berechnung digitaler Oberflächenmodelle möglich. Zur Erfassung von 3D-Informationen müssen in mindestens zwei Luftbildern *homologe Punkte* identifiziert werden. Abbildung 2 zeigt beispielhaft ein automatisch berechnetes, digitales Oberflächenmodell aus Stereo-Luftbildern.

Das Potential von digitalen Stereo-Luftbildern zur automatisierten 3D-Erfassung von Stadtgebieten wurde bereits in einigen Studien aufgezeigt (z. B. Haala und Wolff 2009; Gülch 2009 oder Lemaire 2008). Im Vergleich dazu gibt es in Waldgebieten in Deutschland so gut wie keine Erfahrung, insbesondere was die Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit der automatisierten

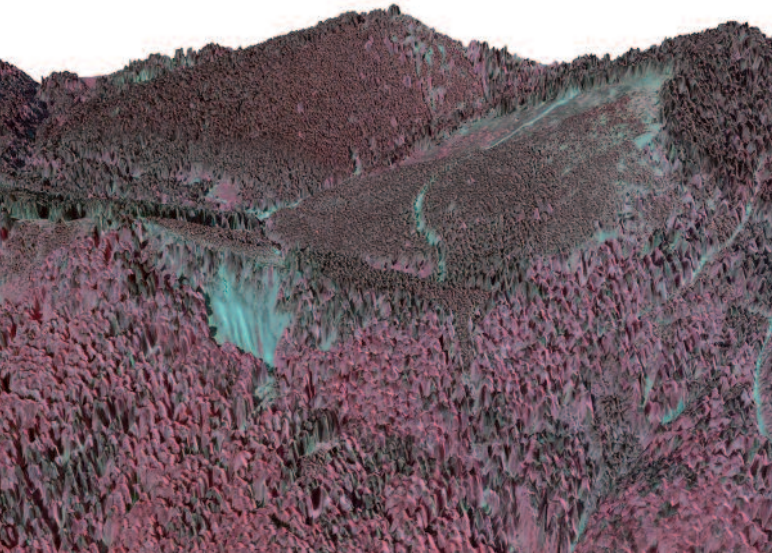


Abbildung 2: Automatisiert berechnetes digitales Oberflächenmodell aus Luftbildern, überlagert mit einem Farb-Infrarotbild

Messung von Vegetationshöhen anbetrifft. Deshalb werden im Projekt SAPEX-DLB im Anschluss an eine Machbarkeitsstudie detaillierte Genauigkeitsanalysen sowie Kosten-Nutzen-Betrachtungen zu dieser Thematik durchgeführt. Hierfür werden die aus den Stereo-Bildern abgeleiteten Höhenmodelle mit Modellen aus flugzeuggestützter Laserscannermessung verglichen.

Flugzeuggestützte Laserscannermessung

Bei der flugzeuggestützten Laserscannermessung wird die Landschaft mittels Laserstrahlen abgetastet. Dabei werden pro Sekunde mehrere Tausend Laserimpulse vom Laserscanner im Flugzeug zur Erdoberfläche gesandt (LVG 2011). Das Laserlicht wird von der Geländeoberfläche oder von darauf befindlichen Objekten reflektiert und die rückgestreute Laserenergie im Flugzeug registriert. Aus der dabei verstrichenen Laufzeit der Laserimpulse ergibt sich die Entfernung zwischen Laserscanner und Objekt. Ausgehend von der Position des Flugzeugs können auf diese Weise die 3D-Koordinaten aller reflektierten Positionen auf der Geländeoberfläche rekonstruiert werden. Gegenüber anderen Fernerkundungstechniken hat die Laserscannermessung folgenden Vorteil: Bei Bäumen können häufig mehrere Echos der rückgestreuten Laserenergie detektiert werden. Die ersten Reflexionen erfolgen häufig von den Baumkronen und eignen sich deshalb zur Modellierung der *Baumkronenoberfläche*, während die letzten Reflexionen häufig Bodentreffer sind und sich deshalb zur Berechnung der *Geländeoberfläche ohne Vegetation* eignen. Aus der Differenz von Kronenoberfläche und Geländeoberfläche kann die Vegetationshöhe abgeleitet werden. Abbildung 3 zeigt beispielhaft einen Querschnitt durch Laserpunkte in einem Waldbestand. Aus den Bodenpunkten wurde ein digitales Geländemodell (DGM) abgeleitet und aus den höchsten Punkten ein digitales Oberflächenmodell (DOM) berechnet.

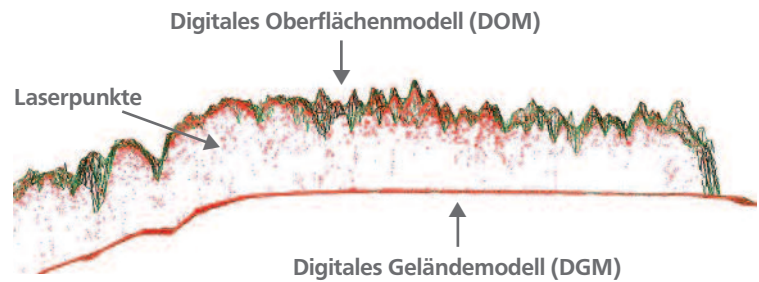


Abbildung 3: Querschnitt durch Laserpunkte in einem Waldbestand mit einem digitalen Geländemodell und einem digitalen Oberflächenmodell

Zahlreiche Forschungsprojekte haben bereits die Eignung der Laserscannertechnik zur Ableitung von Einzelbaum- und Bestandeshöhen nachgewiesen (z.B. Heurich 2006; Næsset 2002). Aus diesem Grunde wurden im Projekt SAPEX-DLB die Laserdaten als Referenz für die Höhenmodelle aus Stereo-Luftbildern ausgewählt. Auch das Potential zur Ableitung weiterer forstlicher Kennwerte, wie zum Beispiel des Holzvolumens in Kubikmeter pro Hektar, wurde bereits in zahlreichen Studien aufgezeigt. Laserscanning wird in Norwegen bereits seit dem Jahr 2002 operational für Waldinventuren eingesetzt (Næsset 2004, 2007). Ein Nachteil der flugzeuggestützten Lasermessung im Vergleich zur Luftbildbefliegung sind allerdings die höheren Befliegungskosten. Außerdem werden Luftbilder von den Vermessungsverwaltungen in Deutschland periodisch aktualisiert, wohingegen eine regelmäßige Aktualisierung von amtlichen Laserdaten insbesondere in Bayern bisher nicht geplant ist.

Vergleich von Höhenmodellen aus Stereo-Luftbildern und Laserscannermessung

Aktuelle Ergebnisse der Oberflächenmodellierung mit Stereo-Luftbildern sind äußerst vielversprechend. Im Projekt SAPEX-DLB konnten hochwertige Oberflächenmodelle berechnet werden. Selbst bei hoher Reliefenergie im Gebirge war es möglich, die Waldoberfläche zutreffend zu modellieren. Abbildung 4 zeigt einen Querschnitt durch ein Laser- und ein Luftbild-Oberflächenmodell. Deutlich erkennbar ist die hohe Übereinstimmung der Modelle.

Die Luftbildauswertung kann jedoch nur die Kronenoberfläche vermessen, der Blick unter die Kronen bleibt systembedingt verwehrt. Um daraus Vegetationshöhen ableiten zu können, ist es erforderlich, ein digitales Geländemodell aus Lasermessung als zusätzlichen Datensatz zu verwenden. Aus der Differenz von Luftbild-Oberflächenmodell und Laser-Geländemodell kann dann die Vegetationshöhe abgeleitet werden. Da das Laser-DGM jedoch für fast ganz Bayern zur Verfügung steht und auch davon ausgegangen werden kann, dass sich die Geländeoberfläche in Zukunft im Wald nicht maßgeblich verändert (ausgenommen in den Alpen), wird dies nicht als methodische Einschränkung gesehen.

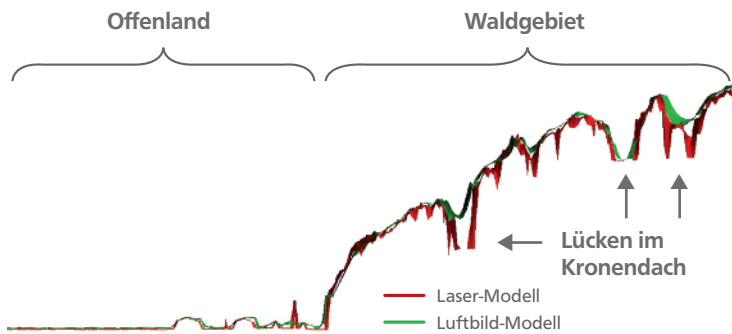


Abbildung 4: Querschnitt durch ein Laser- und ein Luftbild-Oberflächenmodell

Potentielle Anwendungsgebiete

Auf Grundlage der digitalen Höhenmodelle können zahlreiche waldkundliche und waldschutzrelevante Kenngrößen abgeleitet werden. An der LWF werden hierfür computerbasierte bzw. (semi-)automatisierte Auswertungsmethoden entwickelt und getestet.

Vegetationshöhenmodelle aus Luftbildern oder Laserdaten eignen sich beispielsweise als Hilfsmittel für die forstliche Beratung, für forstliche Planungsaufgaben, zur Bestimmung der Größe von Waldflächen sowie zur Abgrenzung und Charakterisierung von Waldbeständen. Direkt erfassbare Merkmale sind *Baumhöhen* bzw. *Bestandeshöhen* sowie der *Überschirmungsgrad*.

Die LWF-Arbeitsgruppe Fernerkundung in der Abteilung Informationstechnologie plant ferner zu untersuchen, ob auf Grundlage der genannten Merkmale weitere (dendrometrische) Kenngrößen abgeleitet werden können. Hierfür sollen innovative Methoden entwickelt werden, die z. B. flächendeckende Schätzungen des Holzvorrats, der Biomasse, der Grundfläche oder des mittleren Stammdurchmesser von Waldbeständen ermöglichen. Der entscheidende Vorteil von Fernerkundungsdaten ist die *flächendeckende* Aufnahme von Waldgebieten, wohingegen derzeitige Waldinventuren nur Stichprobendaten liefern. Daher soll untersucht werden, ob Höhenmodelle aus Luftbildern zur Regionalisierung von Waldinventuren genutzt werden können. Unter Regionalisierung wird hierbei die Übertragung der Stichprobenmessungen aus dem Gelände auf flächige Objekte wie beispielsweise Waldbestände oder Flurstücke mittels Hilfsinformationen aus Fernerkundungsdaten verstanden. Zu diesem Zweck werden die Felddaten der Inventur mit den Fernerkundungsdaten verknüpft.

Als Ergebnis können räumlich detaillierte Abschätzungen von forstlichen Kenngrößen vorliegen. Die Weiterverarbeitung in einem geographischen Informationssystem macht vielfältige Analysen, Simulationen und anschauliche kartographische Visualisierungen der Ergebnisse möglich, was Planungsaufgaben und Entscheidungen erleichtern kann. Nicht zuletzt können die Ergebnisse zur Beratung und Förderung der Waldbesitzer genutzt werden.

Auch im Zuge naturschutzfachlicher Kartierungen können Höhenmodelle eingesetzt werden, um naturschutzrelevante Waldstrukturen zu erfassen. Hierzu zählen beispielsweise die Kartierung von Überhängern und Lücken, die Schichtigkeit in Lücken sowie die Charakterisierung der Oberflächenbeschaffenheit bzw. der Höhenvariabilität im Kronendach.

Mit der regelmäßigen Befliegung Bayerns durch die Bayerische Vermessungsverwaltung stehen die digitalen Luftbilddaten alle drei Jahre aktualisiert zur Verfügung. Daraus abgeleitete Höhenmodelle können dadurch in Zukunft zur Detektion und Kartierung von Veränderungen in Wäldern eingesetzt werden. Zusätzlich könnte gegebenenfalls der Höhenzuwachs von Bäumen näherungsweise ermittelt werden.

Zusammenfassend ist somit festzuhalten, dass digitale Stereo-Luftbilder für vielfältige forstliche Anwendungen nachhaltig genutzt werden können. Mit den (semi-)automatisierten Auswertungsmethoden stehen effiziente Verfahren zur Verfügung, um Informationen für große Waldflächen in angemessener Zeit liefern zu können.

Literatur

Gülch, E. (2009): *Advanced Matching Techniques for High Precision Surface and Terrain Models*. Fritsch, D. (Hrsg.) Photogrammetric Week '09, Wichmann

Haala, N.; Wolff, K. (2009): *Digitale photogrammetrische Luftbildkamerateleskope – Evaluierung der automatischen Generierung von Höhenmodellen*. DGPF Tagungsband 18 / 2009

Heurich, M. (2006): *Evaluierung und Entwicklung von Methoden zur automatisierten Erfassung von Waldstrukturen aus Daten flugzeuggetragener Fernerkundungssensoren*. Forstliche Forschungsberichte München

Lemaire, C. (2008): *Aspects of the DSM Production with High Resolution Images IAPRS*. Volume XXXVII, Part B4, S. 1143–1146

LVG - Landesamt für Vermessung und Geoinformation Bayern (2011): *Digitale Geländemodelle - Produktinformation des LVG Bayern*. Online: http://vermessung.bayern.de/file/pdf/1614/download_faltblatt-dgm09.pdf

Næsset, E. (2002): *Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data*. Remote Sensing of Environment, 80, S. 88–99

Næsset, E. (2004): *Practical large-scale forest stand inventory using a small-footprint airborne scanning laser*. Scandinavian Journal of Forest Research, 19: S. 164–179

Næsset, E. (2007): *Airborne laser scanning as a method in operational forest inventory: Status of accuracy assessments accomplished in Scandinavia*. Scandinavian Journal of Forest Research, 22: S. 433–442

Dr. Christoph Straub ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung »Informationstechnologie« an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft und bearbeitet das Forschungsprojekt SAPEX-DLB. Christoph.Straub@lwf.bayern.de
Rudolf Seitz leitet die Abteilung und das Projekt SAPEX-DLB. Rudolf.Seitz@lwf.bayern.de

Armin Troycke ist Mitarbeiter in der Abteilung »Informationstechnologie«. Armin.Troycke@lwf.bayern.de