

Ableitung der Stammzahl aus Satellitenbilddaten

Von Johannes Stoffels, Michael Vohland, Christina Hau und Joachim Hill, Trier

Methoden der Fernerkundung werden in nationalen Forstinventuren zwar bisher nur in Einzelfällen genutzt, sie sind aber hinreichend erprobt und haben in vielen nationalen und internationalen Studien ihre Einsatztauglichkeit bewiesen. Für die operationelle Nutzung von Satellitenbilddaten stehen zahlreiche Verfahren und Ansätze zur Verfügung, die es ermöglichen, wichtige Bestandesparameter flächenhaft als Grundlageninformationen für die Forstpraxis bereitzustellen. Im Rahmen dieses Beitrages wird vorgestellt, mit welchen Methoden und mit welcher Genauigkeit die Bestandesgröße Stammzahl pro Hektar aus Satellitenbilddaten mittlerer räumlicher Auflösung abgeleitet werden kann.

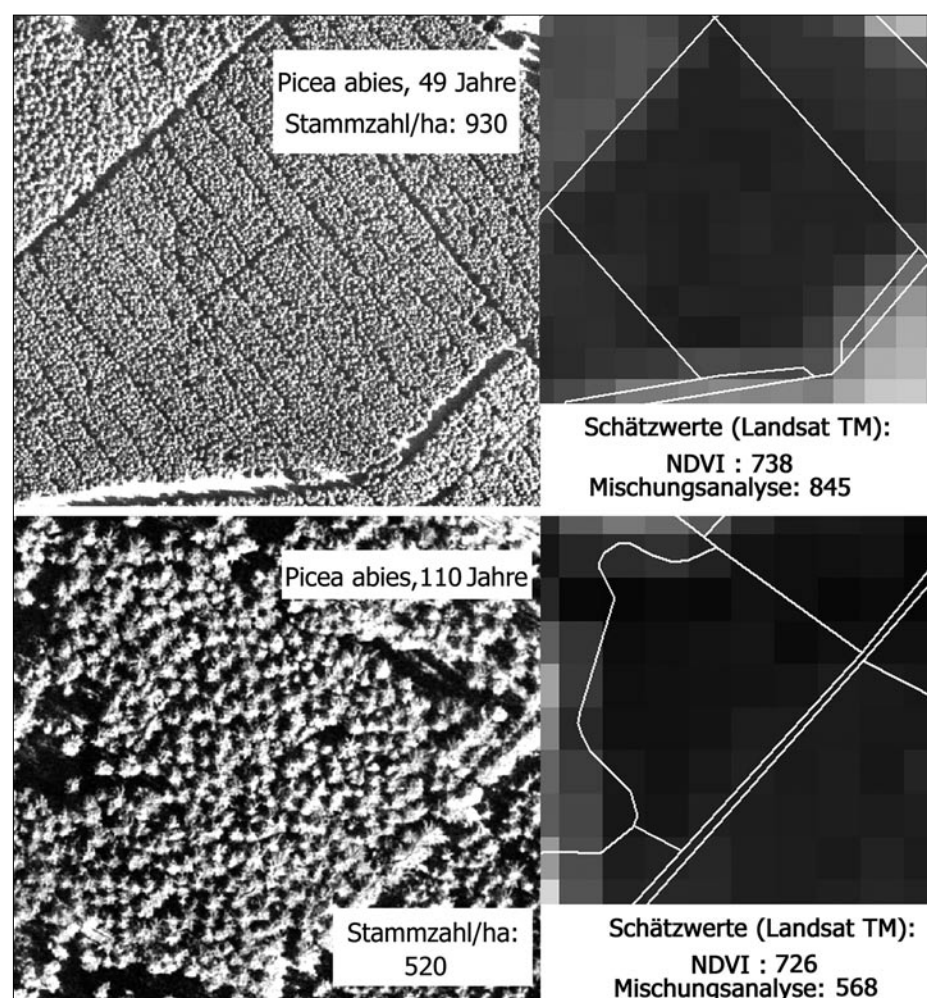


Abb. 1: Beispielhafte Darstellung der Datengrundlage (Luftbild vs. Landsat TM-Datensatz, Kanal 4, nahes Infrarot) und Schätzergebnisse für zwei ausgewählte Fichtenbestände

Prof. Dr. M. Vohland ist Junior-Professor für Fernerkundung und Geoinformationsverarbeitung im Fachbereich Geografie/Geowissenschaften an der Universität Trier. Prof. Dr. J. Hill ist Lehrstuhlinhaber für Fernerkundung und Leiter der Abteilung Fernerkundung an der Universität Trier. J. Stoffels ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter in dieser Abteilung tätig, C. Hau ist ehemalige wissenschaftliche Mitarbeiterin des Faches Fernerkundung.

Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung

Satellitenbilddaten bieten die Möglichkeit, flächendeckend für große Gebiete und mit geringem zeitlichen und personellen Aufwand Wälder zu kartieren und Forstinventurdaten abzuleiten. Mit Ausnahme der visuellen Interpretation und stereoskopischen Auswertung von Luftbildern werden fernerkundliche Methoden in nationalen Forstinventuren bisher jedoch nur in Einzelfällen genutzt. Der standardmäßige Einsatz von fernerkundlichen Verfahren in Forstinventuren der skandinavischen Staaten sowie eine große Zahl an nationalen und internationalen Studien verdeutlichen aber eindrucksvoll das Potenzial der Fernerkundung zur Datenerhebung im Forst. Zudem sorgen die Weiterentwicklungen von satellitengestützten Sensorsystemen, mit stetiger Verbesserung der räumlichen und spektralen Auflösung, sowie sinkende Kosten bei Datenbeschaffung und -aufbereitung und die Entwicklung innovativer Analyse- und Prozessierungsstrategien für eine fortlaufende Erweiterung der Perspektiven für die forstliche Fernerkundung (vgl. z.B. [1, 3, 4]).

Ein Hauptproblem beim Einsatz von Satellitenbilddaten ist oftmals ihre limitierte räumliche Auflösung (vgl. Abb. 1). So verfügen die häufig eingesetzten Sensorsysteme Landsat TM/ETM+, SPOT, ASTER über Pixelgrößen zwischen 10 m × 10 m und 30 m × 30 m. Liegen die Abmessungen des beobachteten Objekts unter denen des Bildelementes, kann das Objekt nicht mehr von seiner Umgebung getrennt wahrgenommen werden. Um trotz des Dimensionsunterschiedes zwischen Objekt und Bildelement ein Maximum an Objektinformationen aus den Bilddaten abzuleiten, wurde eine Vielzahl empirischer und statistischer Ansätze entwickelt.

In diesem Kontext ist vor allem das von TOMPP0 eingeführte Multiquellen-Inventurverfahren (Multi-source Forest Inventory) zu nennen, das terrestrisch erhobene Stichprobendaten mit Satellitenbildern sowie topografischen und thematischen Informationen verknüpft [5]. Über eine Extrapolation von Waldstichprobendaten auf Basis

Methoden

Einen einfachen empirischen Ansatz zur Schätzung der Stammzahl aus Satellitenbilddaten ermöglichen spektrale Vegetationsindizes, deren Formulierung auf der spezifischen Reflexionscharakteristik grüner Vegetation beruht (Reflexionsminimum im sichtbaren Spektralbereich [sichtbares Rot], Maximum im nahen Infrarot). Dieses Prinzip realisiert auch der klassische Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), der durch seine einfache Berechenbarkeit und eine Vielzahl operationeller (empirischer) Anwendungsmöglichkeiten eine weite Verbreitung bei der Auswertung von Multispektraldaten besitzt. Der NDVI wird als dimensionslose Verhältniszahl im Wertebereich zwischen -1 und 1 angegeben und berechnet sich nach der Formel

$$NDVI = \frac{\rho_{IR} - \rho_{Rot}}{\rho_{IR} + \rho_{Rot}}$$

(mit ρ_{IR} = Reflexion im nahen Infrarot und ρ_{Rot} = Rotreflexion).

Anders als Vegetationsindizes beruht die Methode der linearen spektralen Entmischung (Linear Spectral Mixture Analysis, LSMA) auf einer physikalischen Betrachtung der Interaktion zwischen einfallender Sonnenstrahlung und Vegetationsbestand. Dabei wird vereinfachend angenommen, dass jedes Photon des ankommenden Strahlungsflusses nur mit jeweils einer Materialkomponente (z.B. Vegetation, Boden, Streuauflage) innerhalb des beobachteten Oberflächensegments interagiert. Die von einem inhomogenen Bildelement ausgehende Gesamtreflexion ergibt sich demnach als linear-additive Mischung der Reflexionsspektren der dort vorkommenden einzelnen Komponenten [2].

Für die vorliegende Untersuchung wurden Musterspektren von Buchen- und Eichenblättern

sowie von verschiedenen anzutreffenden Bestandes-Hintergründen (Streuauflage, unbedeckter Boden und Fichtenborke) berücksichtigt. Diese Musterspektren wurden im Labor unter standardisierten Bedingungen mit einem Spektrometriemeter (ASD FieldSpec II) eingemessen und an die spektrale Auflösung der genutzten Satellitenbilddaten (Landsat TM) angepasst. Zusätzlich wurde ein idealisiertes Schattenspektrum integriert. Aus diesen Musterspektren lässt sich das multispektrale, durch den Satelliten gemessene Signal nach dem Prinzip der linearen Mischung wie folgt modellieren:

$$R_p = K \cdot R_K + H \cdot R_H + S \cdot R_S + \varepsilon$$

- R_p = Reflexionswerte der einzelnen Bildelemente
- K, H, S = Kronen-, Hintergrund- und Schattenanteile jedes Pixels
- R_K, R_H, R_S = im Labor gemessene Musterspektren für Vegetation, Hintergrund und Schatten
- ε = Restfehler

Durch die rechnergestützte Umkehrung dieser Mischung, der linearen Entmischung, ist es möglich, aus den am Satelliten aufgezeichneten Reflexionsspektren auf die jeweiligen Anteile der zur Pixel-Gesamtreflexion beitragenden Komponenten (Krone, Hintergrund, Schatten) zu schließen. Aus den zur Verfügung stehenden Spektren wurden dabei für die Entmischung jedes einzelnen Pixels die drei Musterspektren ausgewählt, die den Restfehler ε minimal werden lassen (Abb. 2). Da sich mit Zu- oder Abnahme der Stammzahl pro Hektar die für den Sensor sichtbaren Anteile der drei „entmischten“ Komponenten (Kronen-, Hintergrund- und Schattenanteile) verändern, wurde zur nachfolgenden statistischen Auswertung ein multivariater Regressionsansatz gewählt.

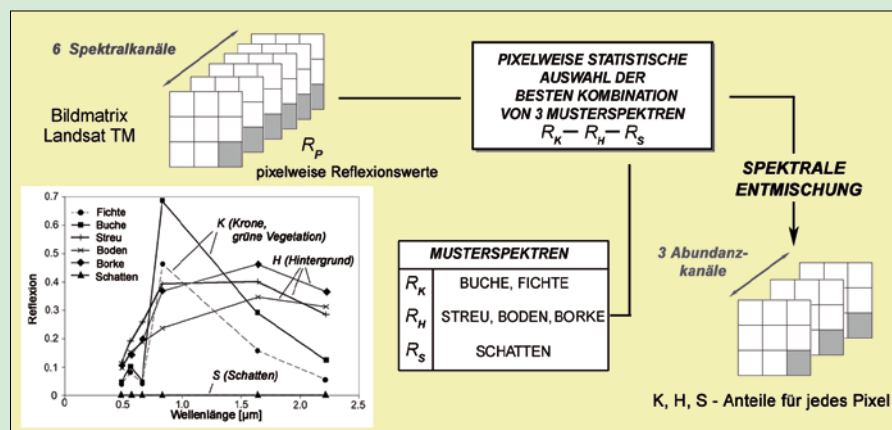


Abb. 2: Prinzip der eingesetzten Linearen Mischungsanalyse

von Satellitenbildsignaturen können für jeden Bestand Inventurgrößen abgeschätzt werden. Mithilfe des k-nearest-neighbour Algorithmus wird dabei ein Ausgabebild mit mehreren Ebenen erzeugt; jede Bildebene enthält die flächendeckende Information zu einer Inventurgröße.

Zum anderen kommen zwei- und mehrphasige Stichprobenverfahren zum Einsatz, bei denen Informationen aus terrestrischen Kartierungen mit Satellitenbilddaten, Luftbildern sowie topografischen und thematischen Karten verknüpft werden. Über Regressionsschätzungen können

nen dann flächendeckend die benötigten Bestandesparameter abgeleitet werden. Zuverlässige Schätzmodelle, die nur wenige Daten zur Kalibrierung benötigen, verringern den Umfang notwendiger Referenzerhebungen im Gelände und können somit zur Kosteneinsparung beitragen [3].

Ziel der hier skizzierten Auswertung war es daher, die Inventurgröße Stammzahl pro Hektar mit möglichst hoher Genauigkeit aus Satellitenbilddaten zu schätzen. Als Untersuchungsgebiet wurde ein 1 800 ha großes Waldgebiet im Idarwald (Forstamt Dhronen, Hunsrück) ausgewählt, das sowohl homogene Reinbestände als auch naturnahe Laub- und Mischwälder umfasst.

Vorverarbeitung der Satellitenbilddaten

Als Datengrundlage diente eine Landsat-TM-Szene vom 15.7.1990, die über sechs spektrale Kanäle im reflektiven Bereich des elektromagnetischen Spektrums (0,4 bis 2,4 µm) und über eine geometrische Auflösung von 30 m x 30 m verfügt. Aufnahmen dieses Sensors eignen sich besonders zur Bearbeitung von vegetationsbezogenen Fragestellungen und lassen sich standardisiert vorverarbeiten. Die Landsat TM-Szene wurde zur Interpretation ausgewählt, da Luftbilder einer zeitnahen CIR-Befliegung vom 4.8.1990 als Referenz vorlagen. Die Beschaffungskosten für diesen Archivdatensatz lagen bei 425 €.

Durch die geometrische Korrektur des Datensatzes wurde die exakte räumliche Verknüpfung mit den ebenfalls geocodierten Luftbildern und vorliegenden digitalisierten Forsteinrichtungsplänen ermöglicht. Eine anschließende radiometrische Korrektur des Satellitenbildes beseitigte atmosphärische und reliefbedingte Störeinflüsse; somit war eine direkte Vergleichbarkeit des Satellitenbildes mit im Labor gemessenen Referenzsignaturen verschiedener Oberflächen gewährleistet. Auf der Basis der vorverarbeiteten Daten wurde eine Multispektralklassifikation durchgeführt, um Fichtenbestände verschiedener Altersklassen im Untersuchungsgebiet zu identifizieren. Insgesamt wurden auf diese Weise 42 Fichten-Reinbestände (*Picea abies*) zur weiteren Interpretation ausgewählt (zum Verfahren siehe Kasten).

Schätzergebnisse für Stammzahl pro Hektar

Aus den vorliegenden Luftbildern wurde zunächst für die ausgewählten Bestände durch visuelles Auszählen die jeweilige Stammzahl pro Hektar als Referenz ermit-

telt. Zwischen diesen Referenzwerten und den aus den Satellitendaten berechneten NDVI-Werten ergab sich ein exponentieller Zusammenhang; der NDVI sättigte bei höheren Stammzahlen pro ha (> 400) auf und war in diesem Wertebereich nur noch eingeschränkt als Schätzer zu verwenden. Abb. 3 vergleicht die auf Basis der empirischen Schätzfunktion ermittelten Stammzahlen mit den im Luftbild gemessenen Werten. Der Zusammenhang zwischen gezählten und geschätzten Werten ist mäßig hoch (Bestimmtheitsmaß $r^2 = 0,67$), und der RMSE (Root Mean Squared Error) als statistische Prüfgröße zur Beurteilung der Schätzgüte liegt bei 168 Stämmen/ha.

Analog zum NDVI wurde nachfolgend für die mithilfe der Spektralen Entmischung ermittelten Anteile der Bestandekomponenten via multipler linearer Regressionsanalyse eine entsprechende Schätzfunktion zur Ermittlung der Stammzahl pro Hektar definiert. Die Qualität der auf dieser Datengrundlage durchgeführten Schätzung ist gegenüber den Ergebnissen auf NDVI-Basis deutlich verbessert. Auch bei höheren Stammzahlen liegen die berechneten Werte jetzt nahe der 1 : 1-Linie, die statistischen Maße ($r^2 = 0,85$, RMSE = 100 Stämme/ha) dokumentieren die deutlich verbesserte Schätzgüte (Abb. 3).

Abb. 1 illustriert beispielhaft für zwei der untersuchten 42 Fichtenbestände die Repräsentation in Luft- und Satellitenbild und dokumentiert die mithilfe der beiden eingesetzten Methoden (NDVI, Mischungsanalyse) erzielten Schätzergebnisse.

Bewertung

Die operationelle Nutzung von Fernerkundungsdaten in Forstinventuren ist nicht aus-

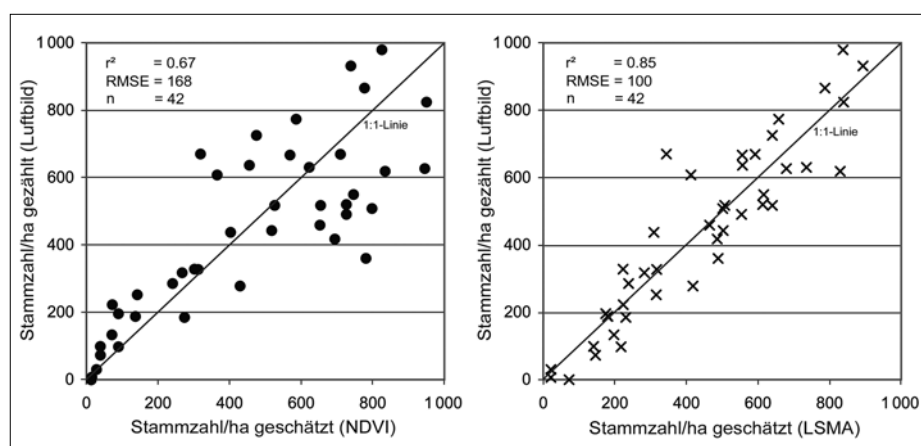


Abb. 3: Schätzergebnisse für die Inventurgröße Stammzahl pro Hektar auf Basis des NDVI (links) und der Ergebnisse der LSMA (rechts)

schließlich von der Verfügbarkeit räumlich hochauflösender Sensorsysteme abhängig. Auch Satellitenbilddaten mittlerer räumlicher Auflösung lassen quantitative Analysen mit hoher Genauigkeit zu. Dazu müssen jedoch Werkzeuge aus dem Bereich der digitalen Bildverarbeitung optimiert und an die speziellen Anforderungen der Forstwirtschaft angepasst werden. Das vorliegende Beispiel zur Ableitung der Inventurgröße Stammzahl pro Hektar aus Bilddaten zeigt, dass der einfache physikalisch basierte Ansatz der Spektralen Mischungsanalyse dem traditionellen Werkzeug des Vegetationsindex deutlich überlegen ist und hohe Schätzgenauigkeiten zulässt. Aus diesem Ergebnis kann die Empfehlung abgeleitet werden, Satellitenbilddaten mittlerer Auflösung (wie Landsat TM/ETM+ oder Aster) stärker in die Praxis der forstlichen Inventur zu integrieren, da sie eine kostengünstige Bearbeitung großer zusammenhängender Gebiete ermöglichen.

Allerdings können fernerkundliche Auswertungen terrestrische Inventuren nicht ersetzen, sondern nur ergänzen. Im Falle des beschriebenen Beispiels wird angesichts der erzielten Güte der Schätzungen deutlich, dass wenige terrestrische Stichproben zur Kalibrierung der fernerkundlichen Schätzmodelle ausreichen. Somit erscheint die sinnvolle Ergänzung von terrestrischer und fernerkundlicher Inventur mit entsprechender Kostenersparnis praktikabel.

Literaturhinweise:

- [1] HEURICH, M.; KENNEL, E. (2007): Projekt Fernerkundung für Waldinventuren erfolgreich. AFZ-DerWald 2/2007, S. 70.
- [2] HILL, J. (1998): Neue Wege zur geowissenschaftlichen Auswertung multispektraler Fernerkundungsdaten. Geographische Rundschau 50, S. 113-119.
- [3] KÖHL, M.; BRASSEL, P. (1998): Einsatz der Fernerkundung bei nationalen Forstinventuren. AFZ-DerWald 24/1998, S. 1472-1474.
- [4] KORPELA, I. (2007): 3D treetop positioning by multiple image matching of aerial images in a 3D search volume bounded by lidar surface models. Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (PFG) 1/2007, S. 35-44.
- [5] TOMPPA, E.; PEKKARIEN, A. (1997): Methodenerprobung der Finnischen Nationalen Multiquellen-Waldinventur in Nordrhein-Westfalen. In: Landeswaldinventur – Konzeption, Verfahrenstest, Ergebnisse. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Nordrhein-Westfalen, Heft 5, S. 52-67.