

# Waldstrukturbeschreibung aus dem All

## Oberflächenmodelle aus Satellitendaten zur Charakterisierung von Waldbeständen

Adelheid Wallner, Markus Immitzer, Valerie Koch, Jiaojiao Tian, Peter Reinartz, Clement Atzberger und Rudolf Seitz

**Bislang werden forstliche Parameter und Waldstrukturen vorwiegend durch terrestrische Inventuren erfasst. Die Informationen werden dabei in der Regel punktuell und wegen des hohen Zeit- und Kostenaufwandes meist in Zehn-Jahres-Zyklen erhoben. Demgegenüber bieten Fernerkundungsdaten nicht nur die Möglichkeit diese Intervalle zu verringern, sondern auch das Potenzial, solche terrestrisch erhobenen Informationen zu regionalisieren. Zu diesem Zweck wurde im Projekt SAPEX-SAT getestet, wie aus Stereo-Satellitendaten forstliche Parameter aus großflächigen Forstinventurdaten sowie Strukturmerkmale von Waldbeständen abgeleitet werden können.**

Aufgrund der steigenden Nachfrage von bayernweiten Informationen zu forstlichen Parametern werden an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) zwei Forschungsprojekte zur »Semi-automatischen Parameterextraktion aus Fernerkundungsdaten« durchgeführt. Neben digitalen Luftbildern (Projekt SAPEX-DLB) werden dabei auch Satellitendaten (Projekt SAPEX-SAT) getestet. Im vorliegenden Beitrag werden die Erfahrungen mit der Regionalisierung forstlicher Parameter aus großräumigen Forstinventurdaten sowie die Extraktion von Strukturmerkmalen aus Stereo-Satellitendaten vorgestellt. Dabei will man auf großer Fläche mit Hilfe der Fernerkundung Waldbestände erkennen sowie Ergebnisse von Großrauminventuren auf überregionaler Ebene flächenhaft darstellen. Das Fernerkundungsprojekt stützt sich dabei auf ein deutsch-österreichisches Projektkonsortium mit folgenden Partnern:

- Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF): Abteilung Informationstechnologie
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR): Institut für Methodik der Fernerkundung (IFM) – Abteilung Photogrammetrie und Bildanalyse
- Universität für Bodenkultur, Wien (BOKU): Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation (IVFL)

Das Projekt nutzte WorldView-2 Stereo-Satellitendaten, um daraus Oberflächenmodelle zu erstellen. Aus diesen Oberflächenmodellen wurden anschließend Waldstrukturelemente wie Bestandeshöhen und Lückigkeit erfasst sowie dendrometrische Kenngrößen wie Holzvorrat, Stammzahl und Grundfläche abgeleitet. Zur Generierung der Oberflächenmodelle wurden zwei unterschiedliche Softwarepakete getestet: XDibias-SGM mit dem Semi-Global-Matching (SGM) Verfahren (d'Angelo et al. 2008; Hirschmüller 2008) und das kommerzielle Softwarepaket ERDAS LPS eATE (Leica Photogrammetry Suite enhanced Automatic Terrain Extraction). Als methodische Grundlage für diese Studie diente das Projekt E49 »Semi-automatische Parameterextraktion aus digitalen Luftbildern« (SAPEX-DLB), das seit 2010 an der LWF läuft (Straub und Stepper 2014).

### Fernerkundungsdaten und Untersuchungsgebiete

Für die Erstellung der Oberflächenmodelle wurden Bilddaten des WorldView-2 Satelliten (Abbildung 1) verwendet. Aufgrund seines schwenkbaren Sensors können damit sich überlappende Stereobildpaare aufgenommen werden. Dabei wird das Untersuchungsgebiet aus zwei unterschiedlichen Blickwinkeln aufgenommen. Im Weiteren zeichnet sich dieser Satellit durch hohe räumliche (50 cm im panchromatischen und 200 cm in den multispektralen Kanälen) und spektrale Auflösung (8 Kanäle) aus. Die verwendeten Satellitenbilder wurden in den Sommermonaten 2012 bzw. 2013 aufgenommen.

Für die Verifizierung der aus den Satellitendaten erzeugten Oberflächenmodelle stellte das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV) Laserscanningdaten, Luftbilder und digitale Geländemodelle zur Verfügung. Für die Regionalisierung wurde auf die Daten der Bundeswaldinventur (BWI) 2012 zurückgegriffen (58 Trakte mit 165 erhobenen Traktecken in den drei Testregionen).



Foto: Digital Globe

Abbildung 1: Der Satellit WorldView-2 liefert aus einer Höhe von etwa 770 km Bilder mit einer Auflösung von 0,5 m bis 2 m.

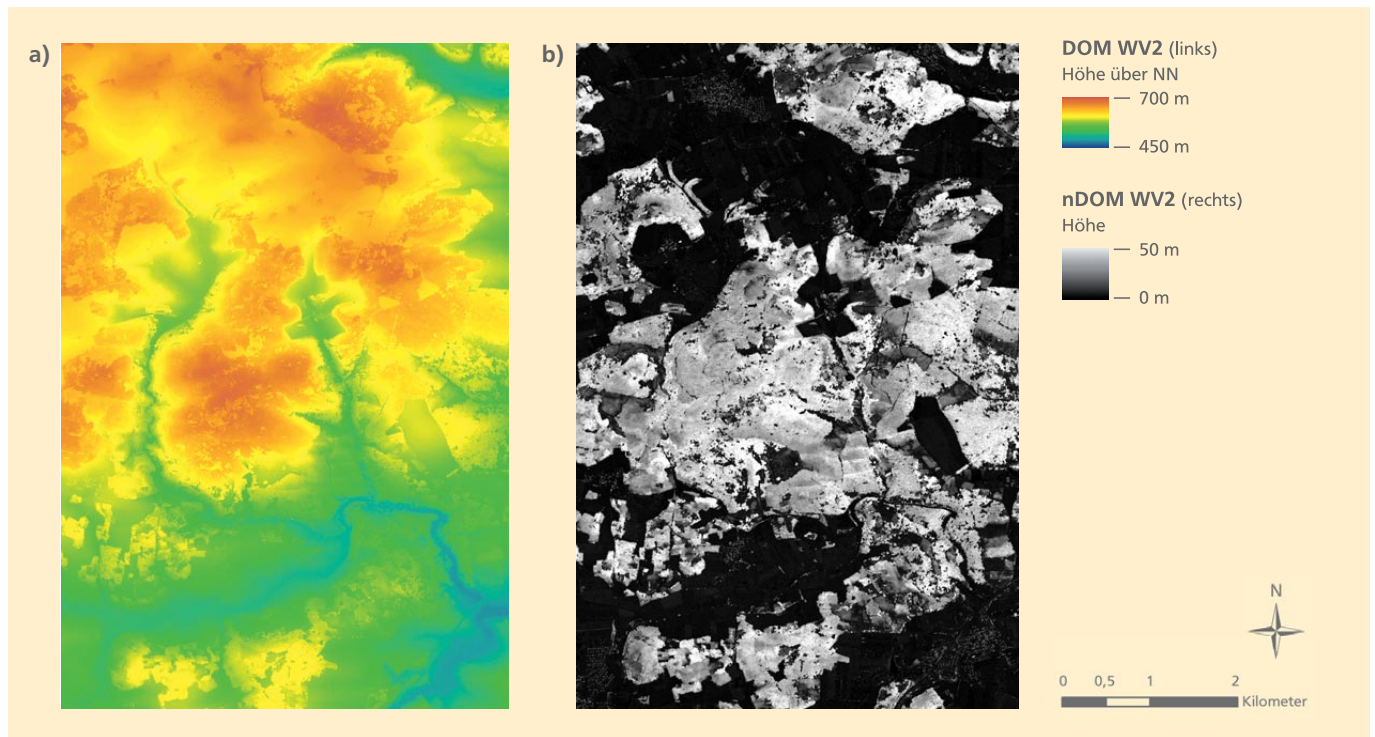


Abbildung 2: Untersuchungsgebiet Monheim; a) digitales Oberflächenmodell (DOM) mit Höheninformationen in den Bereichen von 450 m ü. NN (blau) bis 700 m ü. NN (rot), b) normalisiertes

Oberflächenmodell mit Gebäude- und Vegetationshöhenwerten von 0 m (schwarz) bis 50 m (weiß)

Abruf der Aufnahmedatenbank vom 05.03.2014; Datenstand 15.03.2014).

Die Untersuchungen wurden in folgenden Gebieten durchgeführt, wobei vorrangig Untersuchungsgebiete des Schwesterprojekts SAPEX-DLB verwendet wurden:

- Traunstein (Oberbayern)
- Monheim (Schwaben)
- Gerolzhofen (Unterfranken)

### Erstellung der Oberflächenmodelle aus WorldView-2 Daten

Für die drei Untersuchungsgebiete wurden digitale Oberflächenmodelle (DOM) mit den Softwareprogrammen LPS eATE (ERDAS) bzw. XDibias-SGM generiert. Um ein DOM erstellen zu können, müssen die Bilder eine ausreichende Überlappung aufweisen. Die Bilder wurden orientiert und daraus mit Hilfe eines Matching-Verfahrens ein DOM mit einer 1m-Auflösung berechnet. In den erzeugten DOM sind Strukturen der Geländeoberfläche wie z. B. bestockte und unbestockte Flächen, Gräben, Flüsse, Straßen oder Häuser deutlich erkennbar (Abbildung 2a).

### Ableitung forstlicher Kenngrößen aus WorldView-2 Oberflächenmodellen

Von den erstellten DOM wurden in weiterer Folge die Höhen aus digitalen Geländemodellen (DGM), erstellt aus Airborne-Laserscanning-Daten (ALS) des LDBVs, subtrahiert. Dadurch entstehen sogenannte normalisierte Oberflächenmodelle (nDOM), deren Höhenwerte reine Objekthöhen darstellen. Für Waldgebiete werden nDOM daher auch als Vegetations- oder Kronenhöhenmodelle bezeichnet (Abbildung 2b). Die nDOM wurden für die Regionalisierung der Großrauminventuren und die Ableitung der Lückigkeit herangezogen.

Um die Qualität der erzeugten Oberflächenmodelle beurteilen zu können, wurden die Höheninformationen aus den nDOM aus WorldView-2 Daten mit jenen aus ALS-Daten verglichen. Für den systematischen Vergleich wurden über die Untersuchungsgebiete regelmäßige Raster gelegt und die Höhenwerte der nDOM in den einzelnen Rasterzellen ausgelesen und daraus verschiedene statistische Kennwerte berechnet. Die Rasterweite betrug zehn und 22 Pixel. Um die Ergebnisse interpretieren zu können, wurden Streudiagramme für die 5., 50. (Median) und 95. Perzentile erstellt sowie Bestimmtheitsmaße und Gesamtfehler ermittelt. Neben der statistischen Analyse erfolgte auch ein visueller Vergleich der Daten anhand von Profilschnitten. Sowohl die statistischen Analysen als auch die Profilmessungen zeigen, dass Bestandeshöhen des nDOM aus den WorldView-2 Daten prinzipiell gut erfasst werden. Einzig Baumspitzen und kleine Lücken bilden ALS-Daten besser ab (Abbildung 3a und b). Ebenso gibt es Unterschiede bei struk-

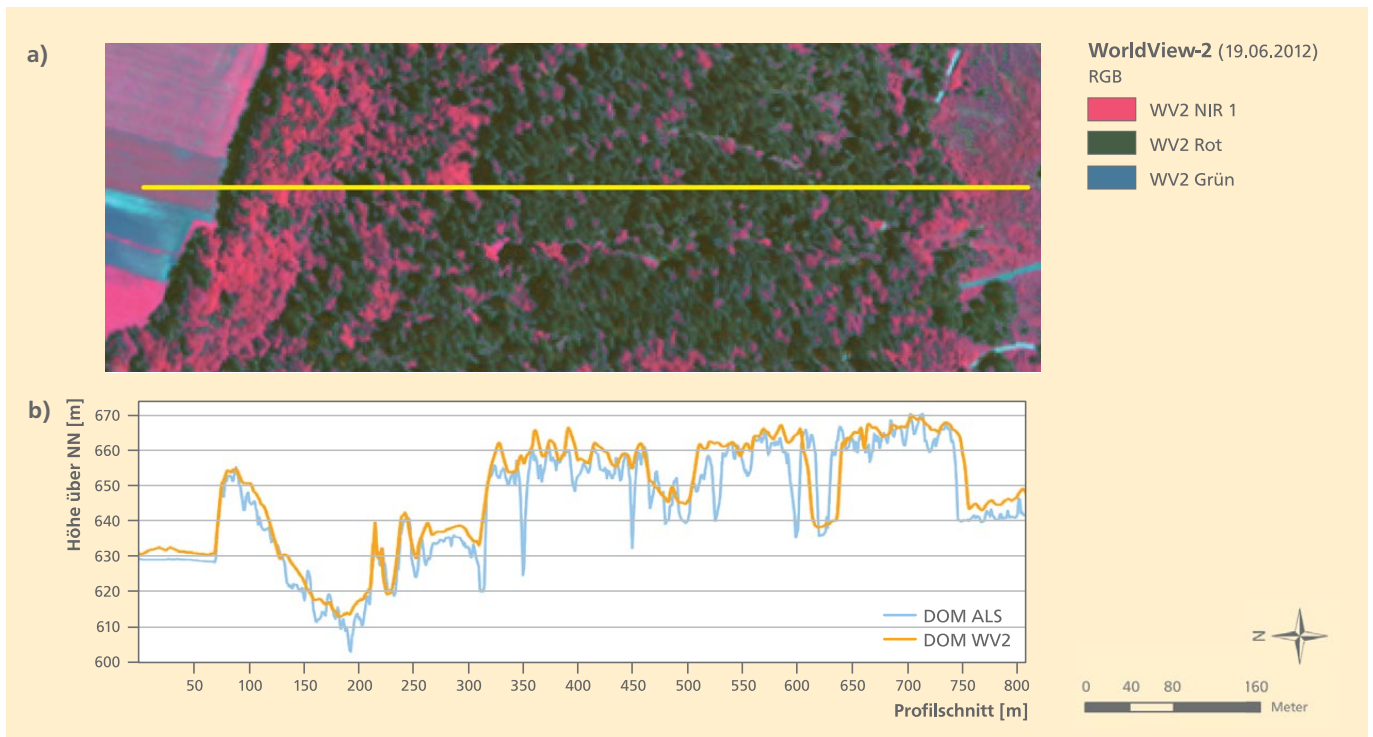


Abbildung 3: Untersuchungsgebiet Traunstein; a) Profillinie durch einen dichten Waldbestand, dargestellt über einem WorldView-2 Falschfarbenbild (roter Kanal: Nahes Infrarot 1 = NIR 1, grüner

Kanal: rot, blauer Kanal: grün) b) Höheninformationen aus DOM von WorldView-2 (WV2, blau) und Airborne Laser Scanning (ALS, orange) Daten im Profilschnitt entlang der in a) dargestellten Linie

turreichen Beständen bzw. bei einzelnen, auf der Fläche verbliebenen Überhältern, welche durch das Bildmatching teilweise völlig verloren gehen. Diese Einzelbäume werden von den verwendeten Verfahren als »Ausreißer« gesehen und als baumlose Flächen dargestellt. Die mittels LPS eATE bzw. XDibias-SGM erstellten Modelle wurden nicht nur mit den Referenzdaten (ALS) verglichen, sondern auch miteinander. Die Höhen der beiden Modelle korrelierten immer gut miteinander, es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Modellen festgestellt werden.

### Ermittlung von Lückeninformatoren

Lücken im Wald und die Beschreibung ihrer Eigenschaften sind wichtige Faktoren für die strukturelle Charakterisierung der Waldzusammensetzung. Die Erfassung von Lücken im Gelände ist aus technischer Sicht sehr schwierig umzusetzen und im steilen Gelände häufig unmöglich in ausreichender Genauigkeit zu realisieren. Um Lücken fernerkundlich zu erfassen, wurde in einem ersten Schritt der Vegetationsindex »Normalized Difference Vegetation Index« (NDVI) aus Spektralinformationen berechnet. Im zweiten Schritt wurde aus der Kombination des NDVI mit dem nDOM eine Gehölzmaske erstellt (Tian et al. 2014). Neben der Analyse der Lückengröße wurden weitere Eigenschaften, wie zum Beispiel Ausrichtung, Ausdehnung bzw. Länge, Hangneigung und Höheninformation, in den Lücken näher untersucht. Diese Eigenschaften liefern wichtige Hinweise für die Beurteilung von Lücken. Je nach Be-

schaffenheit der Lücken kommt es zu unterschiedlichen zeitlichen Veränderungen der Lücken und des angrenzenden Bestandes. Zusätzlich wurden die Lücken in die drei Klassen Wiese, offener Boden und niedrige Vegetation (Gräser, kleine

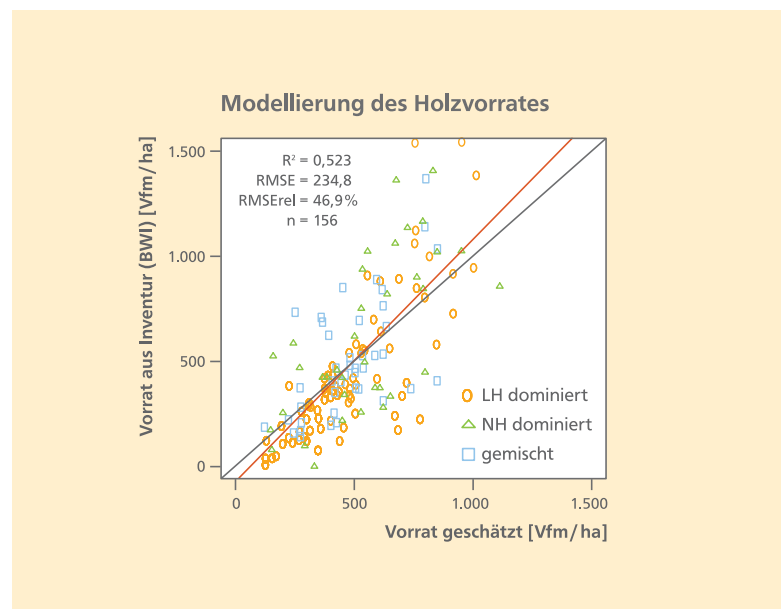


Abbildung 4: Streudiagramm des geschätzten Holzvorrates (RF-Modell) und des gemessenen Holzvorrates (BWI-Daten) an n = 156 BWI-Traktecken (Gütemaße:  $R^2$  = Bestimmtheitsmaß, RMSE = root mean square error, RMSErel = relativer RMSE; LH = Laubholz, NH = Nadelholz)



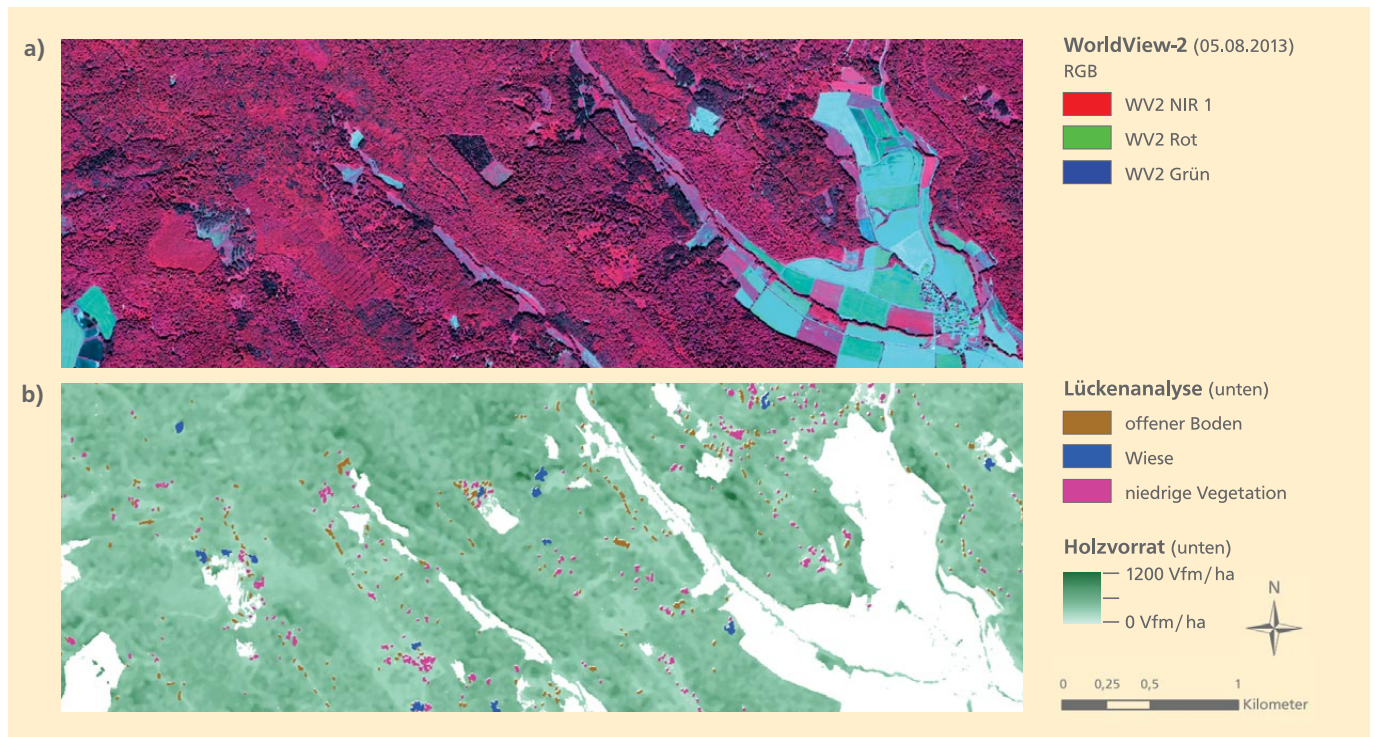


Abbildung 5: Untersuchungsgebiet Gerolzhofen; a) WorldView-2 Falschfarbenbild (roter Kanal: Nahes Infrarot 1 = NIR 1, grüner Kanal: rot, blauer Kanal: grün), b) flächige Anwendung der Holzvor-

ratsschätzung mit überlagerter Darstellung der Lücken. Die Lücken wurden klassifiziert als Wiese (blau), offener Boden (braun) und niedrige Vegetation (pink)

Bäume, Büsche usw.) klassifiziert. Die genannten Eigenschaften in Kombination mit dem NDVI wurden für die Klassifikation basierend auf dem Random Forest (RF) Algorithmus (Breiman 2001) verwendet. In Abbildung 5b ist das Klassifikationsergebnis für die Gehölzmaske der WorldView-2 Datensätze dargestellt. Bei der Verifizierung mit Luftbildern hat sich gezeigt, dass es in Schattenbereichen durch die fehlende Reflexionsinformation zu Problemen kommen kann.

### Regionalisierung von Bundeswaldinventurdaten

Ziel der Regionalisierung ist die Überführung der punktuell erhobenen Inventurdaten auf die Fläche. Dazu werden die erhobenen Inventurergebnisse anhand von Informationen aus Fernerkundungsdaten modelliert. Für die Modellierung werden Höhenkennwerte aus den Oberflächenmodellen, aber auch Informationen aus den Spektraldaten (Abbildung 5a) herangezogen. Da die Winkelzählprobe (WZP) im Gegensatz zur Inventurmethode »Probekreise mit festen Radien« keine fixe Bezugsfläche aufweist, wurde im Zuge dieses Projektes ein neuartiger Ansatz entwickelt. Anstatt mit einer einzigen – optimierten – Probenkreisgröße zu arbeiten, wurden verschiedenste Informationen in einem Modell kombiniert, wobei die Auswahl der notwendigen Variablen automatisch erfolgte. Die Modellierung erfolgte mittels RF Regression (Breiman 2001). Dabei handelt es sich um einen »ensemble-learning« Algorithmus, welcher nichtlineare multiple Regressionen mittels unkorrelierter Entscheidungsbäume erstellt. Mit diesem Ansatz

konnten trotz des geringen Stichprobenumfangs brauchbare Modelle erstellt werden. Ein Beispiel für die Holzvorratsschätzung ist in Abbildung 5b dargestellt. Die Gütemaße (wie z. B. ein  $R^2$  von 0,52) lagen im Bereich anderer Studien, wobei vorratsreiche Bestände tendenziell unterschätzt werden (Abbildung 4). Die flächige Anwendung des erstellten Holzvorratsmodells gemeinsam mit dem Ergebnis der Lückeanalyse findet sich in Abbildung 5b, wobei hohe Holzvorratswerte dunkelgrün und niedrige hellgrün erscheinen.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse aus der Studie haben gezeigt, dass die Erstellung von exakten Oberflächenmodellen aus WorldView-2 Stereobildern mit den beiden untersuchten Softwarepaketen möglich ist. Die erzeugten Modelle zeigten dabei gute Übereinstimmung mit Referenzinformationen aus ALS-Daten und Luftbildern. Die Hauptunterschiede lagen bei der Erfassung einzelner Baumwipfel sowie in Schattenbereichen, wie z. B. am Waldrand oder in kleinen Lücken, die aufgrund der fehlenden Spektralinformationen zu Fehlern bei der Erstellung des Oberflächenmodells geführt haben.

Die erzeugten Oberflächenmodelle ermöglichen eine gute Erfassung und Charakterisierung von Lücken, wobei nur sehr kleine Lücken Probleme machen. Erfolgreich war darüber hinaus die Verwendung der erzeugten Höheninformationen – gemeinsam mit den Spektraldaten – für die flächendeckende Holzvorratsschätzung. Für die Modellerstellung wurden dazu

BWI-Daten verwendet wobei der neu entwickelte Ansatz die WZP-Aufnahme deutlich besser widerspiegelt als bisher übliche Verfahren.

Das Projekt SAPEX-SAT konnte zeigen, dass Stereo-Satellitendaten forstliche Planungs- und Monitoringaufgaben unterstützen und wichtige Informationen für die Beratung der Waldbesitzer liefern können (Immitzer et al. 2014). Der Vorteil von Satellitenbildern gegenüber konventionellen Luftbilddaten ist, dass damit größere Flächen abgedeckt werden und somit homogenere Daten zur Verfügung stehen. Demgegenüber sind die derzeit noch deutlich höheren Kosten für derartige Daten zu berücksichtigen. Daher ist ein direkter Vergleich mit Luftbilddaten geplant.

## Literatur

d'Angelo, P.; Lehner, M.; Krauss, T. (2008): Towards automated DEM generation from high resolution stereo satellite images. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37 (Teil B4), S. 1137–1142

Breimann, L. (2001): »Random Forest«, *Machine Learning*, 45 (1), S. 5–32

Hirschmüller, H. (2008): Stereo processing by semiglobal matching and mutual information. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 30 (2), S. 1–14

Immitzer M.; Koch V.; Tian J.; Wallner A.; Atzberger C.; Seitz R. (2014): Projekt E53: Forstliche Charakterisierung von anpassungsnotwendigen Waldbeständen sowie Regionalisierung von Großrauminventuren auf Basis von Satellitendaten (SAPEX-SAT). Freising, Wien, Oberpaffenhofen: LWF, BOKU, DLR

Straub, C.; Stepper, C. (2014): Projekt E49: Semi-automatische Parameterextraktion aus digitalen Luftbildern (SAPEX-DLB) – TEIL II (Zwischenbericht 01.03.2014). Freising: LWF

Tian, J.; Straub, C.; Wallner, A.; Seitz, R.; Reinartz, P. (2014): 3D forest canopy gaps analyses based on WorldView-2 Stereo Imagery, Presentation at the 34th EARSeL Symposium: European remote sensing – new opportunities for science and practice, 16-20 June, Warsaw

---

Rudolf Seitz und Adelheid Wallner: Abteilung Informationstechnologie der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF); [Vorname.Nachname@lwf.bayern.de](mailto:Vorname.Nachname@lwf.bayern.de)  
 Prof. Dr. Clement Atzberger, Markus Immitzer, Valerie Koch: Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation (IVFL) an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU); [Vorname.Nachname@boku.ac.at](mailto:Vorname.Nachname@boku.ac.at)  
 Prof. Dr.-Ing. Peter Reinartz und Dr. Jiaojiao Tian: Institut für Methodik der Fernerkundung (IFM) – Abteilung Photogrammetrie und Bildanalyse des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR); [Vorname.Nachname@dlr.de](mailto:Vorname.Nachname@dlr.de)

---

Das Projekt SAPEX-SAT wurde finanziell gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten sowie vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.

## Forstliche Gutachten zur Waldverjüngung 2015



Foto: T. Bosch

### Inventuraufnahmen zum Forstlichen Gutachten

Die Bayerische Forstverwaltung erstellt im Jahr 2015 zum elften Mal seit 1986 für die rund 750 Hegegemeinschaften in Bayern die Forstlichen Gutachten zur Situation der Waldverjüngung. In den Gutachten äußern sich die Forstbehörden zum Zustand der Waldverjüngung und ihre Beeinflussung durch Schalenwildverbiss und Fegeschäden. Sie beurteilen die Verbissituation in den Hegegemeinschaften und geben Empfehlungen zur künftigen Abschusshöhe ab.

Die Forstlichen Gutachten 2015 sollen die Beteiligten vor Ort in die Lage versetzen, für die Schalenwild-Abschussplanperiode 2016/19 einvernehmlich gesetzeskonforme Abschusspläne aufzustellen. Für die unteren Jagdbehörden stellen sie eine wichtige Entscheidungsgrundlage bei der behördlichen Abschussplanung dar.

Auch 2015 erstellen die Forstbehörden in Hegegemeinschaften, bei denen im vorangegangenen Forstlichen Gutachten die Verbissbelastung als »zu hoch« oder »deutlich zu hoch« bewertet wurde, für alle Jagdreviere ergänzende Revierweise Aussagen. In den Hegegemeinschaften mit »günstiger« oder »tragbarer« Verbissbelastung werden Revierweise Aussagen erstellt, wenn dies für das jeweilige Jagdrevier von Beteiligten (Jagdvorstand, Eigenjagdbesitzer, Revierinhaber oder einzelne Jagdge nossen) beantragt wird.

Vor der endgültigen Fertigung der Revierweisen Aussage wird den Beteiligten ein gemeinsamer Waldbegang angeboten, bei dem der Entwurf der Revierweisen Aussage vorgestellt und an konkreten Waldbildern erläutert wird. red

---

Weitere Informationen zu diesem Thema erhalten Sie bei Ihrem örtlichen Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten oder im Internet unter: <http://www.stmelf.bayern.de/wald/jagd/forstliches-gutachten/>