



Brachflächenmonitoring im südlichen Pfälzerwald mit Hilfe hochauflösender Satelliten- und LIDAR-Daten

FELIX BACHOFER & VOLKER HOCHSCHILD, Tübingen, HELMUT SCHULER, Lambrecht

Keywords: QuickBird, Laserscanning, Landnutzungsklassifikation, Biosphärenreservat, Kulturlandschaft

Summary: *Monitoring of Fallow Land in Southern Palatinate Forest Using High Resolution Satellite and LIDAR Data.* The preservation of a heterogeneous cultural landscape within the biosphere conservation area Palatinate Forest requires open landscapes while reducing the scrubbing of fallow land. Therefore, a cost efficient method utilizing high resolution remote sensing data with a combined pixel and object oriented classification approach was developed. The use of LIDAR-data simplified the procedure and enhanced the transferability.

Zusammenfassung: Für den Erhalt von abwechslungsreichen Kulturlandschaften ist es essentiell Offenlandbereiche zu erhalten und die Verbuschung von Brachflächen zu reduzieren. Dazu wurde anhand hoch auflösender Satellitendaten im Biosphärenreservat Pfälzerwald eine kostengünstige Fernerkundungsmethodik entwickelt, die einen kombinierten pixel- und objektorientierten Ansatz nutzt, um Verbuschungsflächen zu erfassen. Der Einsatz von hochaufgelösten Laserscanningdaten ergab zudem, dass die Landnutzungsklassifikation stark vereinfacht und besser übertragbar gestaltet werden kann.

1 Einleitung

Die Kombination optischer Fernerkundungsdaten mit Höheninformationen aus flugzeuggetragenen Laserscanningdaten (LIDAR) wurde in den letzten Jahren vielfach mit den unterschiedlichsten Zielsetzungen eingesetzt. Die Anwendungen konzentrieren sich auf die Verbesserung von Landnutzungsklassifikationen (BORK & SU 2007), die Bestimmung von Baumarten über ihre Spektralsignatur und die Baumhöhe (ASCHOFF & SPIECKER 2004, WATT et al. 2004, PECKHAM et al. 2009), den Natur- und Küstenschutz (ELAKSHER 2008) oder urbane Applikationen mit Gebäudehöhenabschätzung (WALTER 2005, BRAUMANN 2006, SOHN & DOWMAN 2007). Methodisch werden dazu häufig objektorientierte Bildanalyseverfahren verwendet (KRESSLER & STEINNOCHER 2006) oder Landschaftsstrukturmaße zur forstwirtschaftlichen Analyse um die dritte Dimension erweitert (BLASCHKE & TIEDE 2004).

Im Rahmen des hier vorgestellten Projektes zur satellitengestützten Erfassung der Verbu-

schungsflächen im südlichen Pfälzerwald wurden erstmals hochaufgelöste QuickBird-Daten aus dem Frühjahr 2007 sowie Laserscannerdaten (LIDAR-Daten) eingesetzt, um eine standardisierte, kostengünstige Methodik zur Kartierung der Grünlandbrachen zu entwickeln. Der Pfälzerwald ist schon seit längerem von der Aufgabe landwirtschaftlicher Betriebe und Abwanderung geprägt. Daher stellt die Verbuschung von brachgefallenen, ehemals landwirtschaftlich genutzten Grünflächen eines der vordringlichsten Probleme der peripheren Region Pfälzerwald dar, das immer wieder erhebliche öffentliche Finanzmittel zur Beseitigung verschlingt (SCHULER 2007). Neben der reinen Erfassung der verbuschten Areale sollte auch eine qualitative Einschätzung der ökologischen Wertigkeit durchgeführt werden, um das anfallende Pflanzenmaterial hinsichtlich seines Wertes als Schnittgut oder Holz beurteilen zu können.

2 Lage des Untersuchungsgebietes und Datengrundlage

In Anlehnung an ein geplantes Großbeweidungsprojekt wurde als Untersuchungsgebiet ein 100 km² großes Testgebiet im Bereich der Verbandsgemeinden Annweiler und Bad Bergzabern ausgewählt (Abb. 1). Dieses Gebiet weist in der walddominierten Region (> 50%, vorwiegend Nadelwaldarten) noch die größten landwirtschaftlichen Nutzflächen auf. Somit wurde dementsprechend hier auch der Ausschnitt für die Aufzeichnung der Satellitendaten im Frühjahr 2007 mit der Vorgabe einer maximal 15%igen Wolkenbedeckung und einer Abweichung von maximal 15° aus der Nadirposition definiert. Die QuickBird-Daten (panchromatisch 0,61 m räumliche Auflösung; multispektral 2,44 m räumliche Auflösung) konnten dann am 28.04.2007, am Ende einer außerordentlich warmen und trockenen Witterungsperiode im April 2007 erfolgreich aufgezeichnet werden (vgl. Abb. 3a).

Ein Digitales Geländemodell (DGM) mit einer geometrischen Auflösung von 20 m wur-

de von der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF), die hochauflösten LIDAR-Daten (1 x 1 m Raster) wurden vom Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz als Probedatensatz für ein Gebiet von 400 x 400 m zur Verfügung gestellt.

Unmittelbar im Anschluss an die QuickBird-Datenaufzeichnung konnte ein Geländevergleich mit zahlreichen Vergleichsmessungen zum Blattflächenindex (LAI) an vielfältigen Vegetationsarten durchgeführt werden.

3 Methodischer Ansatz

Die optischen Datensätze wurden mit den Passpunkten aus eigenen GPS-Messungen geometrisch korrigiert und mit Hilfe des DGMs differentiell entzerrt um die nötige Verbesserung der Lagegenauigkeit zu erreichen (JACOBSON 2003, AGUILAR et al. 2007). Die Landnutzungsklassifikation der QuickBird-Daten wurde mit einer Klassentiefe von 6 Klassen (Acker, Grünland, Siedlung, Wasser, Laub-

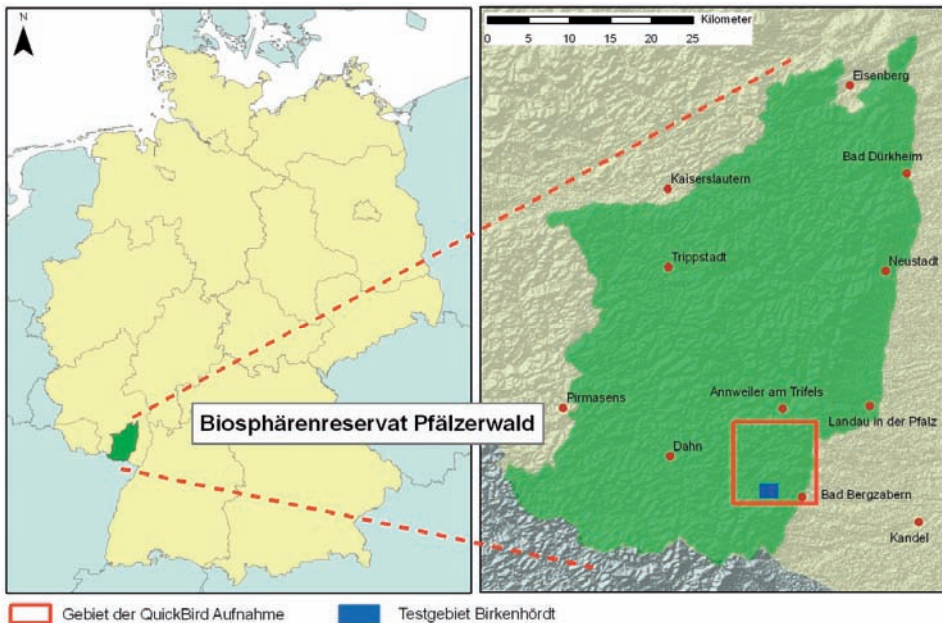


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes im Biosphärenreservat Pfälzerwald (Datenquellen: links: ESRI Data and Maps 2009, rechts: ASTER GDEM Schummerung).

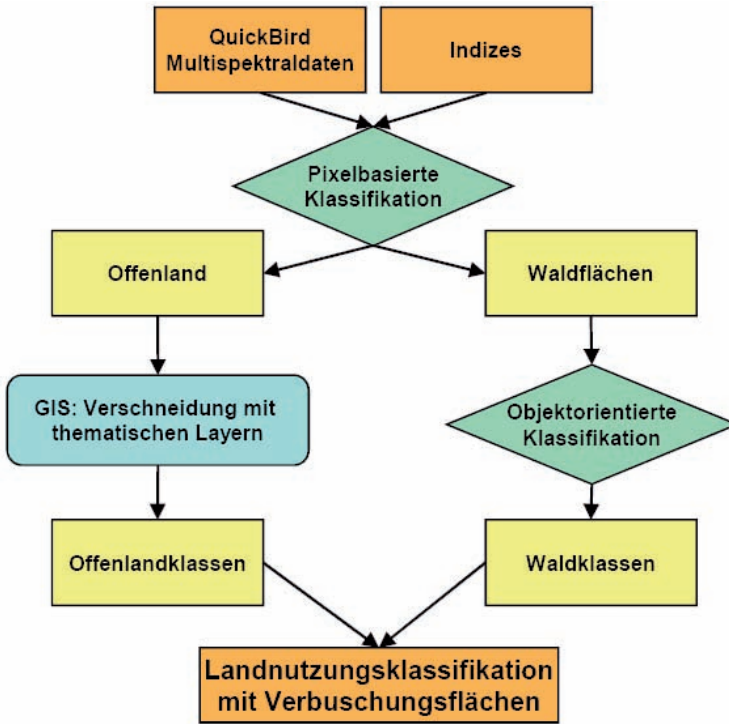


Abb. 2: Kombiniertes Ansatz pixelbasierter und objektorientierter Klassifikation.

und Nadelwald) durchgeführt. Bei der Klassifikation wurden sowohl die Möglichkeiten eines pixelbasierten als auch eines objektorientierten Ansatzes überprüft (vgl. Abb. 2).

Bei der Prozessierung der LIDAR-Punkt-daten wurden je ein Rasterdatensatz mit einem Digitalen Geländemodell (DGM) aus den last-pulse-Daten und einem Digitalen Oberflächenmodell (DOM) aus den first-pulse-Daten interpoliert (Abb. 4). Zur weiteren Analyse wurde ein Differenzmodell (normalisiertes DOM) erstellt, welches die Höhe der Objekte über dem Gelände beschreibt (PFEIFER 2003, TÓVÁRI et al. 2004).

$$nDOM = DOM - DGM$$

Die dadurch abgeleiteten Höhenwerte der verbuschten Vegetation wurden neben dem NDVI-Wert als wichtiges Klassifikationskriterium bei der abschließenden objektorientierten Klassifikation verwendet.

4 Ergebnisse

4.1 Klassifikation der hoch aufgelösten optischen Fernerkundungsdaten

Die besten Ergebnisse im Offenlandbereich wurden mit dem pixelbasierten Ansatz erreicht, in den Waldflächen mit dem objektorientierten Ansatz. Aufgrund dessen wurde eine getrennte Klassifikation der Wald- und Offenlandbereiche durchgeführt und die jeweiligen Ergebnisse anschließend wieder zusammengeführt (Abb. 2). Im Offenlandbereich konnten die Siedlungsflächen, Einzelbäume/Verbuschung, Grünland- und Acker- sowie Wasserflächen sehr gut unterschieden werden. Sonderflächen wie Sportanlagen oder Steinbrüche wurden aus der Topographischen Karte 1 : 25 000 übernommen. Da einzelne Bäume und Büsche sich spektral nur geringfügig unterscheiden integriert die Klasse sowohl

Gartenbäume, Streuobstwiesen, Bachuferbrache und auch verbuschtes Dickicht. Eine weitere Trennung konnte demnach nur nach dem Ausschlussverfahren durchgeführt werden. Dabei wurde mit Hilfe eines Distanzfilters ein Puffer von 15 m um das Siedlungsgebiet gelegt, um Bäume in Siedlungsgebieten auszuschließen, von denen unzweifelhaft angenommen werden kann, dass es sich um Gartenbäume handelt. Bei der somit auf Bachuferbrachen, Streuobstbäume und Verbuschungsflächen reduzierten Klasse wurde eine vergleichbare Methodik zur Abgrenzung und Ausschluss der Bachuferbrachflächen angewendet. Nach der Digitalisierung des Gewässernetzes wurde ein Korridor von 20 m Breite um die Gewässer berechnet, so dass nach diesem Bearbeitungsschritt nur noch Streuobstwiesen und Verbuschungsflächen übrig blieben. Die abschließende Trennung von Streuobst und Verbuschung erfolgte dann durch eine Verschneidung dieses Zwischenergebnisses und dem von der Biosphärenreservatsverwaltung zur Verfügung gestellten Streuobstlayers innerhalb eines Geographischen Informationssystems. Trotz der hohen räumlichen Auflösung ist eine detaillierte Bestimmung der Arten der Verbuschungsflächen aus den QuickBird-Satellitendaten nicht möglich. Dies hängt

in erster Linie mit der im Gelände festgestellten heterogenen Artenzusammensetzung der Verbuschungsflächen (Brombeeren, Ginster, Eichen, etc.) zusammen. Eine Verschneidung der durch das Ausschlussverfahren abgegrenzten Verbuschungsflächen mit dem Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), der stark mit dem LAI korreliert, lies durchaus eine mehrstufige Klassifizierung (Abb. 3b) der Verbuschungsflächen zu (HEISKANEN 2006, STAUDENRAUSCH et al. 2006). Eine Unterscheidung zwischen verholzten, adulten Bäumen, Strauchflächen und niederem Gestrüpp mit dem Ziel der Ausweisung von Prioritätsgebieten für die Beseitigung sowie der Holzschnitzelwertigkeit scheint demnach ebenfalls möglich.

Die angewandte Methodik des kombinierten pixelbasierten und objektorientierten Ansatzes hat zu einem zuverlässigen Ergebnis geführt, vor allem unter Berücksichtigung der besonderen Herausforderungen einer Genauigkeitsabschätzung für die Klassifikation hochauflösender Fernerkundungsdaten (GÄHLER 2006). Dabei konnte eine Gesamtklassifikationsgenauigkeit („overall accuracy“) der Landnutzungsklassifikation mit einem Wert von 88,6% erreicht werden. Der Kappa-Koeffizient betrug 0,84, wobei die größten Über-

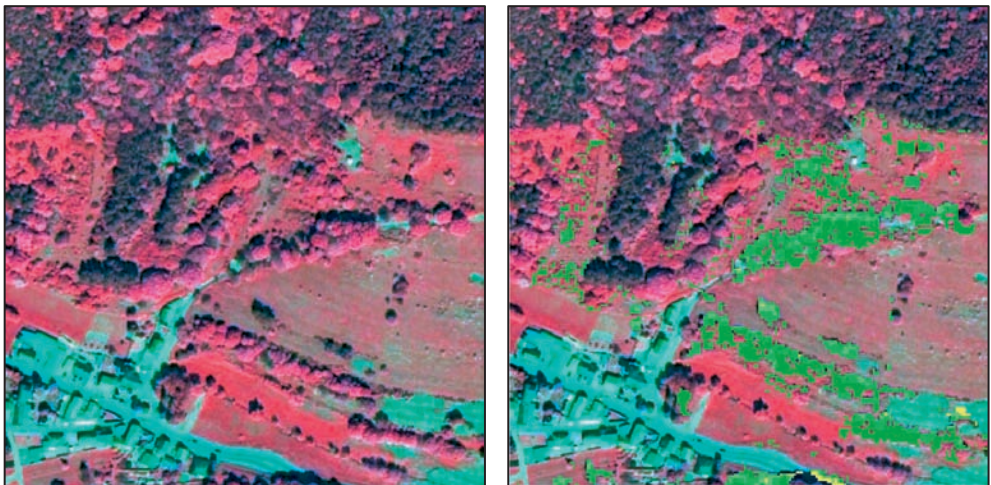


Abb. 3: (a) QuickBird-Aufnahme eines stark verbuschten Gebietes nordöstlich der Gemeinde Birkenhördt (Bildfusion aus PAN und MS in IR-Falschfarbendarstellung); 400 x 400 m – Ausschnitt für den auch LIDAR-Daten zur Verfügung stehen, (b) Verbuschungsflächen mit mehrstufigen NDVI-Werten (hellgrün – niedrige Werte, dunkelgrün – hohe Werte).

schnedungen zwischen Nadelwald und schattigem Laubwald auftraten. Das Ergebnis einer separaten Genauigkeitsabschätzung der klassifizierten Verbuschungsflächen lag bei 80 % und einem Kappa-Koeffizienten von 0,45. Hier lagen Überschneidungen mit hochgewachsenen Wiesenflächen vor.

4.2 Integration der LIDAR-Daten

Das nDOM floss mit den QuickBird-Daten und mit einem aus diesen abgeleiteten NDVI-

layer in eine objektorientierte Klassifikation ein. Bei der Segmentierung führte eine hohe Gewichtung des nDOM-layers zu guten Ergebnissen, d.h. die Zuweisung erfolgte aufgrund der mittleren Höhengenschaften und der mittleren NDVI-Werte eines Segmentes. Gebäude wurden durch einen niedrigen NDVI-Wert aus Objekten über einem Höhengschwellenwert identifiziert, so dass die verbleibenden Objekte die ebenfalls über dem Höhengschwellenwert lagen und einen höheren NDVI aufwiesen verschiedene Verbuschungsklassen, Baumgruppen, siedlungsnahe Vege-

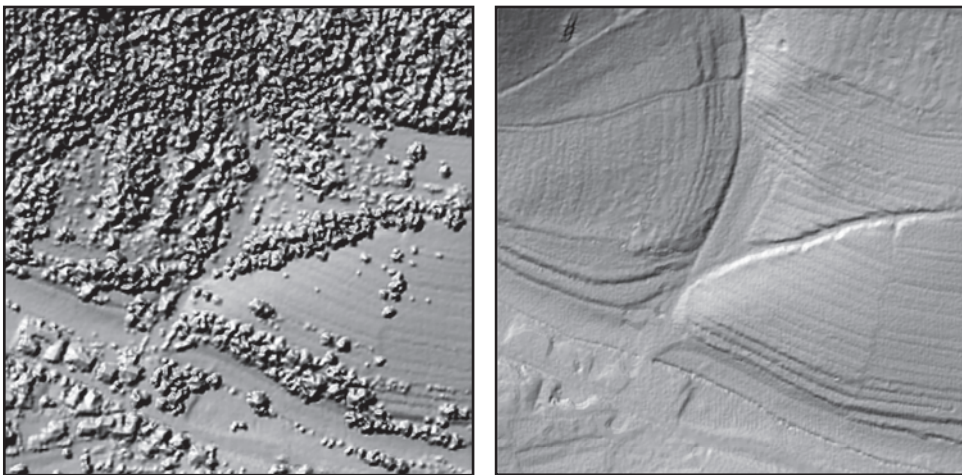


Abb. 4: (a) Digitales Oberflächenmodell, (b) Digitales Geländemodell.

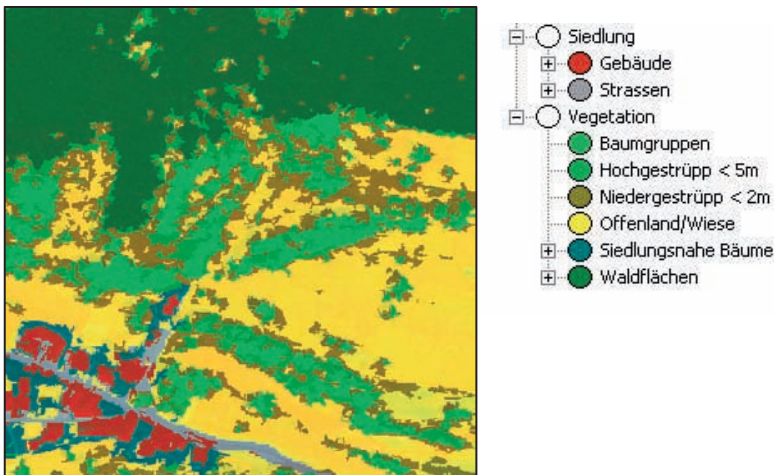


Abb. 5: Landnutzungsklassifikation mit QuickBird- und LIDAR-Daten.

tation (Hausgärten) oder Waldflächen waren (Abb. 5). Diese ließen sich mittels Höhen-, Flächen- und Nachbarschaftseigenschaften trennen. Auch Vorwald lies sich, sofern er noch nicht zur durchschnittlichen Waldhöhe aufgeschlossen hatte, identifizieren.

5 Ausblick

Die entwickelte Methodik bedarf einiger sehr aufwändigen Arbeitsschritte. Dadurch gestaltet sich die Übertragbarkeit der Methodik auf Aufnahmen benachbarter Gebiete oder im Rahmen von Zeitreihen schwierig. Vor allem vor dem Hintergrund, dass unterschiedliche phänologische Stadien der Vegetation bei anderen Aufnahmen die Übertragbarkeit zusätzlich erschweren (LAUSCH 1999). Als eine weitere Schwierigkeit erwies sich die Behandlung von Waldrandgebieten, bei welchen die Verbuschung in der Vorwaldzone wegen der spektralen Überlappung mit den Waldbereichen nur schwer zu erfassen ist. In der verwendeten Waldmaske ist die Vorwaldzone derzeit integriert, sofern sie sich spektral nicht deutlich von den Wäldern unterscheiden. Dies bietet die Möglichkeit, den derzeitigen Ist-Zustand der Waldfläche als Ausgangsfläche für mögliche zukünftige Verbuschungsanalysen heranzuziehen.

Der Einsatz der LIDAR-Daten hat gezeigt, dass sich der kombinierte Ansatz noch verbessern lässt. Ein großer Vorteil der Verwendung der hochaufgelösten Höhendaten liegt in der Übertragbarkeit des Regelwerks auf andere Aufnahmen.

Vor der Fortführung des Projekts steht eine Kosten-Nutzen-Analyse zum Einsatz der LIDAR-Daten, die für die Offenlandbereiche beschafft werden müssten. Des Weiteren sollte die Auswertung auf die ganze Fläche des Biosphärenreservates ausgeweitet werden. Ein Monitoring über Zeitreihen im 5-Jahresabstand wäre sinnvoll. Die Klassifikation der Verbuschungsflächen hinsichtlich seines Schnittgutwertes bietet mit Korrekturmodellen zur korrekten Volumenberechnung (MEINEL et al. 2006) bzw. mit geländebasierten Regressionsmodellen zur Ableitung der Biomasse (NÆSSET 2004) hohes Anwendungspotenzial.

Danksagung

Dank gebührt dem Biosphärenreservat Pfälzerwald-Nordvogesen für die Förderung der Auftragsforschung sowie dem Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz und der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF) für die zur Verfügung gestellten Höhenmodell-Daten.

Literatur

- AGUILAR, M.A., AGUILAR, F.J., AGUERA, F. & SANCHEZ, J.A., 2007: Geometric accuracy assessment of QuickBird basic imagery using different operational approaches. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **73**: 1321–1332.
- ASCHOFF, T. & SPIECKER, H., 2004: Algorithms for the automatic detection of trees in laserscanner data. – *ISPRS – Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment XXXVI*: 71–75.
- BLASCHKE, T. & TIEDE, D., 2004: 3D-Landscape Metrics to Modelling Forest Structure and Diversity Based on Laser-Scanning Data. – *ISPRS – Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment XXXVI*: 129–132.
- BORK, E.W. & SU, J.G., 2007: Integrating LIDAR data and multispectral imagery for enhanced classification of rangeland vegetation: A meta analysis. – *Remote Sensing of Environment* **111** (1): 11–24.
- BRAUMANN, B., 2006: Objektorientierte Gebäudeerkennung in Laserscannerdaten und multispektralen Bildern. – Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien.
- ELAKSHER, A.F., 2008: Fusion of hyperspectral images and lidar-based DEMs for coastal mapping. – *Optics and Lasers in Engineering* **46** (7): 493–498.
- GÄHLER, M., 2006: Biotypenerfassung auf Basis digitaler höchst auflösender Fernerkundungsdaten. – Dissertation am Institut für Geoinformatik und Fernerkundung: Universität Osnabrück.
- HEISKANEN, J., 2006: Estimating aboveground tree biomass and leaf area index in a mountain birch forest using ASTER satellite data. – *International Journal of Remote Sensing* **27** (5–6): 1135–1158.
- JACOBSON, K., 2003: Auswertung von QuickBird- und IKONOS-Aufnahmen. – Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation **12**: 427–434.

- KRESSLER, F.P. & STEINNOCHER, K., 2006: Image Data and LIDAR – an Ideal Combination Matched by Objectoriented Analysis. – 1st International Conference on Object-Based Image Analysis (OBIA), Salzburg.
- LAUSCH, A., 1999: Raumstrukturmaße in der Tagebaufolgelandschaft “Südraum Leipzig” – Durchführung von Monitoring und Bewertungsansätzen. Workshop “Landschaftsstruktur”, Schriftenreihe des Institutes für ökologische Raumentwicklung **29**: 77–93.
- MEINEL, G., HECHT, R. & BUCHROITHNER, M.F., 2006: Die Bestimmung städtischen Grünvolumens – Nutzen, Methodik und Ergebnisbewertung. – Angewandte Geoinformatik 2006. Beiträge zum 18. AGIT-Symposium Salzburg, 473–481.
- NÆSSET, E., 2004: Estimation of above- and below-ground biomass in boreal forest ecosystems. ISPRS – Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment.
- PECKHAM, S.D. & AHL, D.E., 2009: Bryophyte cover estimation in a boreal black spruce forest using airborne lidar and multispectral sensors. – Remote Sensing of Environment **113** (6): 1127–1132.
- PFEIFER, N., 2003: Oberflächenmodelle aus Laserdaten. – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **91** (4), 243–252.
- SCHULER, H., 2007: GIS gestütztes Konzept zur Biotoppflege auf der Grundlage der Planung vernetzter Biotopsysteme (VBS) – Im grenzüberschreitenden Biosphärenreservat Pfälzerwald – Vosges du Nord (Deutscher Teil) Naturpark Pfälzerwald. – Wissenschaftliches Jahrbuch des grenzüberschreitenden Biosphärenreservates Pfälzerwald – Vosges du Nord **13** (2006–2007): 209–218.
- SOHN, G. & DOWMAN, I., 2007: Data fusion of high-resolution satellite imagery and LIDAR data for automatic building extraction. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **62** (1): 43–63.
- STAUDENRAUSCH, H., HOCHSCHILD, V., HELMSCHROT, J., MÜLLER, A., GERLACH, R., REINECKE, A. & FLÜGEL, W.-A., 2000: Application of Remote Sensing and GIS for Integrated Water Resources Management in Southern Africa. Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2000** (5): 331–342.
- TÓVÁRI, D. & VÖGTLE, T., 2004: Object classification in laserscanning data. ISPRS – Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment **XXXVI** (8/W2).
- WALTER, V., 2005: Object-based classification of integrated multispectral and LIDAR data for change detection and quality control in urban areas. – ISPRS conference 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN) **XXXVI** (8/W2): 6.
- WATT, P.J. & DONOGHUE, D.N.M., 2004: Predicting Forest Height from IKONOS, LANDSAT and LIDAR Imagery. – ISPRS – Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment **XXXVI**: 228–231.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Geogr. FELIX BACHOFER, Prof. Dr. VOLKER HOCHSCHILD, Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Geographisches Institut, Rümelinstr. 19–23, D-72070 Tübingen, Tel.: 07071-29-77528, -75316, Fax: -5378, e-mail: felix.bachofer@ggi.uni-tuebingen.de, volker.hochschild@uni-tuebingen.de.

Dipl.-Ing. HELMUT SCHULER, Biosphärenreservat Naturpark Pfälzerwald, Franz-Hartmannstr. 9, D-67466 Lambrecht, Tel.:06325-9552-15, Fax.: -19, e-mail: h.schuler@pfaelzerwald.de.

Manuskript eingereicht: Mai 2009

Angenommen: Juli 2010