

# Schätzung forstlicher Kenngrößen mit RapidEye-Satellitendaten?

Adelheid Wallner, Alata Elatawneh und Thomas Schneider

Die Arbeitsgruppe Fernerkundung des Fachgebietes Waldinventur und nachhaltige Nutzung beschäftigt sich schon seit längerer Zeit mit den Möglichkeiten, verschiedene Satellitensysteme für Fragestellungen aus dem forstlichen Bereich zu nutzen. Ein wichtiger Schwerpunkt liegt im Monitoring und der Ableitung von forstlichen Kenngrößen aus Fernerkundungssystemen, die eine hohe Wiederholungsrate besitzen. Die Ableitung der forstlichen Kenngrößen erfolgt dabei größtenteils automatisiert. Ein Ziel dabei ist die Verknüpfung dieser Informationen mit Wachstumsmodellen zur Unterstützung der forstlichen Inventurfortschreibung nach Veränderungen im Wald.

## Zielsetzung

In Anbetracht des Klimawandels und der damit verbundenen waldbaulichen Umbaumaßnahmen verändert sich die strukturelle Zusammensetzung des Waldes rapide. Sowohl im Staatswald als auch im Groß- und Kleinprivatwald werden betriebliche Waldinventuren maximal alle zehn Jahre durchgeführt. Diese Zeitspanne ist – insbesondere nach Schadereignissen – häufig zu groß, um die notwendigen Maßnahmen für einen Waldumbau ergreifen zu können. Eine Erhöhung des Inventurzykluses ist aber aufgrund des damit verbundenen Arbeits- und Kostenaufwandes nicht zu empfehlen. Diese Lücke könnte geschlossen werden mithilfe einer Veränderungsanalyse anhand von RapidEye Fernerkundungsdaten. Dank der räumlichen und zeitlichen Auflösung und der großflächigen Erfassung von Waldgebieten stellt dieses System (s. Kasten) eine Unterstützung auf Betriebsebene dar. Durch die Analyse von Spektralinformationen und Texturmerkmalen aus Fernerkundungs-

daten kann auf verschiedene forstliche Kenngrößen geschlossen werden, wie es Arbeiten von COBURN und ROBERTS [1], KAYITAKIRE et al. [7], WUNDERLE et al. [15] und OZDEMIR et al. [9] gezeigt haben. Studien mit RapidEye Fernerkundungsdaten haben ergeben, dass sie für Monitoringzwecke zum Beispiel für die Erkennung von Sturmflä-

## RapidEye Satellitensystem

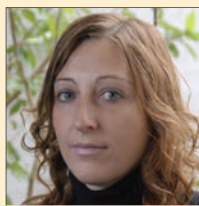
Das Satellitensystem RapidEye ist eine Konstellation aus fünf Satelliten, die Ende 2008 ins Weltall geschickt wurden [11]. Dadurch ist es möglich, innerhalb von ein bis fünf Tagen eine Neuaufnahme desselben Gebietes zu erhalten. Die Grundvoraussetzung dafür ist allerdings ein wolkenfreier Himmel.

Jeder Sensor ist baugleich und kann Informationen in fünf verschiedenen Wellenlängenbereichen – Blau (440 bis 510 nm), Grün (520 bis 590 nm), Rot (630 bis 685 nm), RedEdge (690 bis 730 nm) und Nahes Infrarot (760 bis 850 nm) – in einer räumlichen Pixelauflösung von 5 m liefern. Die Aufnahmebreite des Sensors beträgt 77 km in Flugrichtung.

Insbesondere der Spektralbereich für das RedEdge und das Nahe Infrarot sind für vegetationskundliche Fragestellungen sehr hilfreich, da diese Reflektionsbereiche Informationen über Vitalität und Oberflächenstruktur der Vegetation liefern [12].

Dipl.-Geografin A. Wallner und A. Elatawneh sind Doktoranden am Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung in der Arbeitsgruppe Fernerkundung an der Technischen Universität München.

Dipl.-Geologe Dr. T. Schneider ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Leiter der Arbeitsgruppe.



Adelheid Wallner  
adelheid.wallner@tum.de

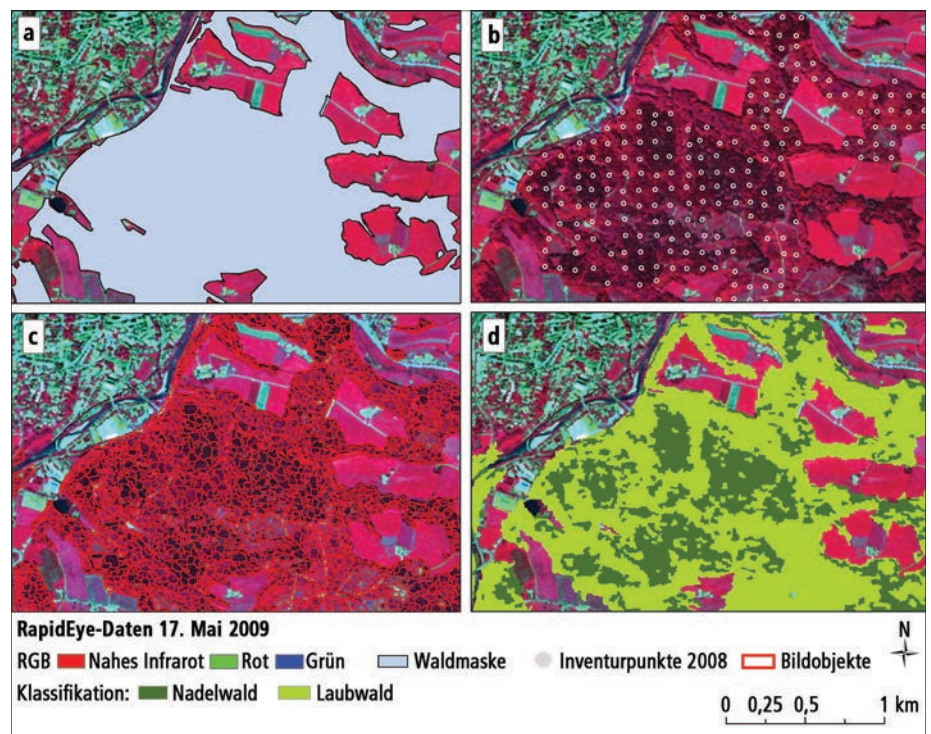


Abb. 1: RapidEye-Datensatz vom 17.5.2009 in Falschfarben-Darstellung (Roter Kanal = Nahes Infrarot, Grüner Kanal = Rot, Blauer Kanal = Grün) des Untersuchungsgebietes Stadtwald Traunstein; a) ATKIS-DLM-Waldmaske ist als blaue Fläche dem RapidEye Datensatz überlagert; b) Verteilung der Rasterinventur aus dem Jahr 2008; c) Segmentierung der Fernerkundungsdaten; d) Laub- und Nadelwaldklassifizierung

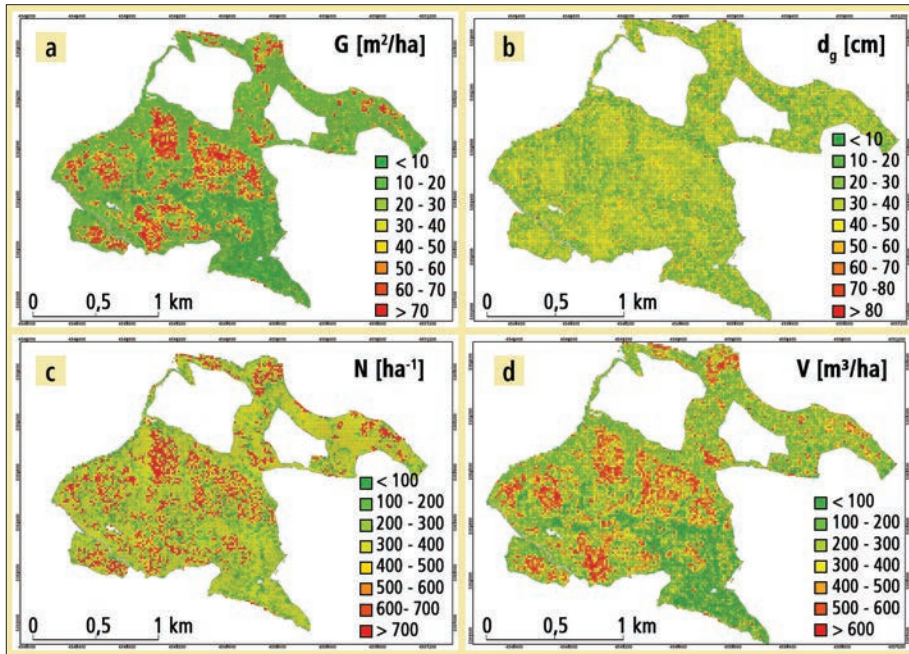


Abb. 2: Schätzung von forstlichen Kenngrößen im Stadtwald Traunstein anhand der Spektralinformationen, Texturmerkmale und Indizes aus RapidEye-Daten. Flächige Schätzung a) der Grundfläche; b) des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes; c) der Stammzahl und d) des Volumens

chen sehr gut geeignet sind [3, 4]. Weitere Arbeiten haben sich mit der Ableitung von Höheninformationen mithilfe von Texturmerkmalen beschäftigt [19] sowie mit der Identifikation von Baumarten anhand eines multi-saisonalen Ansatzes, also Datensätze zu verschiedenen Jahreszeiten [2].

### Automatisiertes Verfahren zur Unterscheidung von Laub- und Nadelwald

Die RapidEye-Daten vom 17. Mai, 1. August und 7. September 2009 wurden mit verschiedenen Bildverarbeitungssoftwarepaketen (ENVI, eCognition) bearbeitet, um die benötigten Spektralinformationen, Texturmerkmale und aus Spektralwerten berechnete Indizes zu extrahieren. Die Information zur Abgrenzung der Waldfläche wurde aus dem digitalen Landschaftsmodell (DLM) des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) verwendet. Die ATKIS-DLM-Waldmaske ist in Abb. 1a dargestellt. Basierend auf dieser Waldmaske wurden Bereiche, die ähnliche oder gleiche Homogenitätsmerkmale aufweisen, als Objekte zusammengefasst. Dieser Prozess wird als Segmentierung bezeichnet und ist in Abb. 1c dargestellt. Als zusätzliche Objektgrenze wurde die Information der Inventurpunktlage und Fläche (vgl. Abb. 1b) verwendet. Durch die Analyse von Spektralinformationen und die daraus resultierende Einteilung der Segmente in die Klassen Laub- und Nadelwald konnte

das Untersuchungsgebiet nach festgelegten Baumartengruppen klassifiziert werden (Abb. 1d).

### Flächige Ableitung forstlicher Kenngrößen

Für die Ableitung der forstlichen Kenngrößen wurden jene Parameter ausgewählt, die einerseits nach einer Bedarfsanalyse [5] zur Anwendung von Fernerkundungsmethoden im Forstbereich am häufigsten genannt wurden und andererseits als Ausgangswerte (Initialisierungsparameter) für den Wachstumssimulator SILVA dienen. Als die maßgeblichen forstlichen Kenngrößen wurden Grundfläche (G), Durchmesser des Grundflächenmittelstammes ( $d_g$ ), Stammzahl (N) und Volumen (V) ausgewählt. Die Analysen sind im Untersuchungsgebiet Stadtwald Traunstein, das im südöstlichen Oberbayern liegt, durchgeführt worden. In diesem Untersuchungsgebiet wurde

2008 eine regelmäßige Rasterinventur in einem 100 x 100 m Raster nach dem Probekreisverfahren erhoben (Abb. 1b). Die Anlage und Auswertung der Probekreise ist in der Richtlinie für die Forstbetriebsplanung [6] beschrieben.

Zur Schätzung der forstlichen Kenngrößen wurden anhand von Fernerkundungsdaten mehrere „Modelle“ erstellt. Als Modell wird hier eine Gleichung bezeichnet, die über das statistische Verfahren der linearen Regression hergeleitet wird. Die Informationen aus den Fernerkundungsdaten (Spektralinformation, Texturmerkmale und Indizes) wurden für das statistische Verfahren als unabhängige Variablen verwendet. Als abhängige Variable dienten die abgeleiteten forstlichen Kenngrößen aus der Waldinventur, die als „Trainingsdaten“ verwendet wurden. Um die Modellgenauigkeit zu erhöhen, wurden die Trainingsdaten nach Baumartenanteilen (bezogen auf die Grundfläche) in vier Straten eingeteilt:

- Reiner Laubwaldinventurpunkt (RL) > 80 %
- Laubwalddominierter Inventurpunkt (LD) > 50 % ≤ 80 %
- Reiner Nadelwaldinventurpunkt (RN) > 80 %
- Nadelwalddominierter Inventurpunkt (ND) > 50 % ≤ 80 %

Am Ende wurde für jede forstliche Kenngröße in den jeweiligen Straten ein Modell erstellt.

Die Übertragung der Modelle auf die Fläche erfolgte mithilfe der Software ArcGIS von ESRI. Hierfür wurde der Forstbetrieb in Rasterzellen von 15 x 15 m (RapidEye-Daten 3 x 3 Pixelmatrix) unterteilt [14]. Danach sind die Zellen basierend auf der Laub- und Nadelwaldklassifikation und anhand der Definition für die Straten einem Stratum zugewiesen worden. Die in Abb. 2a bis d dargestellten Karten zeigen das Endprodukt der flächigen Berechnung der erwähnten forstlichen Kenngrößen. Die Information lässt sich auch leicht mit betrieblichen Bestandesgrenzen, wie in Abb. 3 dargestellt, verschneiden. ▶

Tab. 1: Genauigkeitsmaße für die Schätzung der forstlichen Kenngrößen in den einzelnen Straten im Untersuchungsgebiet

Straten	$d_g$			N			G			V		
	R <sup>2</sup> [%]	rRMSE [%]	rBias [%]	R <sup>2</sup> [%]	rRMSE [%]	rBias [%]	R <sup>2</sup> [%]	rRMSE [%]	rBias [%]	R <sup>2</sup> [%]	rRMSE [%]	rBias [%]
LD	38,00	31,10	0,24	36,00	100,80	1,54	40,00	37,10	-0,04	49,00	42,70	-0,04
RL	55,00	24,90	-0,06	31,00	130,50	0,91	58,00	37,00	0,10	63,00	43,30	0,69
ND	43,00	32,50	0,15	40,00	103,80	1,03	40,00	39,80	-0,32	42,00	49,10	-0,24
RN	37,00	49,90	1,19	30,00	68,30	1,42	53,00	76,30	2,67	51,00	112,20	1,88

LD = Laubwald-dominiert; RL = reiner Laubwald; ND = Nadelwald-dominiert; RN = reiner Nadelwald

## Genauigkeit der Schätzung von forstlichen Kenngrößen

Für die Überprüfung der Genauigkeit der Laub- und Nadelwaldklassifikation wurde ein Raster mit 245 Punkten über das Untersuchungsgebiet gelegt und anhand von Luftbildern interpretiert. Die visuell interpretierten Flächen und die Klassifikation wurden in einer Fehlermatrix [8] gegenübergestellt und die Treffergenauigkeit ermittelt. Dabei wurde eine Gesamtgenauigkeit von 79,6 % und ein Kappa von 0,55 erreicht. Dieser Wert weist auf eine hohe Übereinstimmung zwischen der Klassifizierung und den Referenzdaten hin.

Die Modelle wurden mit der „Leave one out“-Methode [13] validiert und das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) ermittelt. Das  $R^2$  gibt Rückschlüsse auf den Varianzanteil der abhängigen Variablen, der durch die unabhängigen Variablen erklärt werden kann. In Tab. 1 sind für die einzelnen forstlichen Kenngrößen und für jedes Stratum das  $R^2$  der Modelle angegeben. Zusätzlich wurde für jedes Modell der mittlere quadratische Fehler („relative Root Mean Square Error“, rRMSE) und der relative Bias berechnet. Er drückt den systemischen Fehler des Schätzers aus und zeigt auf, ob eine Verzerrung des Schätzers besteht. Dadurch kann gezeigt werden: wenn ein geringer rRMSE vorliegt, sind der Bias und die Varianz der unabhängigen Variablen klein. Zusätzlich lässt sich erkennen, wie stark die Streuung der Schätzwerte ist. Die in Tab. 1 dargestellten Werte zeigen, dass die Stammzahl (Kenngröße N) in den unterschiedlichen Straten einen sehr hohen rRMSE besitzt und somit nicht so gut geschätzt wird. Die Schätzungen der forstlichen Kenngrößen  $d_g$ , G und V zeigen gute Schätzergebnisse [14].

Die flächige Schätzung der forstlichen Kenngrößen wurde mithilfe eines Mittelwerttestes überprüft. Dabei wurden 216 Zellen zufällig aus der flächigen Schätzung ausgewählt und der Mittelwert über alle Ziehungen gebildet. Mit dieser Methode ist es möglich, die Abweichungen der Mittelwerte aus den terrestrischen Messungen mit den Mittelwerten des geschätzten Wertes zu vergleichen und die Differenz zu bestimmen [14]. Für die Grundfläche hat sich gezeigt, dass der geschätzte Mittelwert aus den Ziehungen  $-6,12 \text{ m}^2/\text{ha}$  höher geschätzt wird als der gemessene Wert aufweist. Für den Durchmesser des Grundflächenmittelstamms hat sich eine Abweichung von  $0,47 \text{ cm}$  gezeigt. Hier sind die geschätzten Mittelwerte etwas unterschätzt worden. Die Stammzahl zeigte eine Abweichung von  $-59/\text{ha}$ , welche wieder

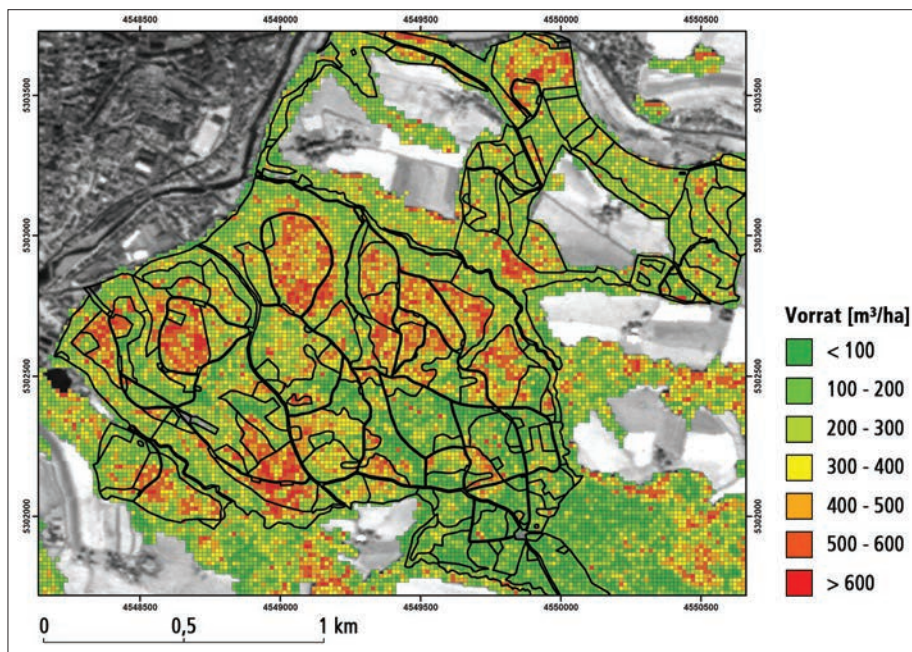


Abb. 3: Vorratsschätzungen überlagert mit der Bestandeskarte des Forstbetriebes

auf eine Überschätzung der geschätzten Werte hinweist. Die Abweichung des Mittelwertes für den geschätzten Volumenwert über das Testgebiet zeigte einen Wert von  $-18,8 \text{ m}^3/\text{ha}$  als eine Überschätzung für das Modell.

## Fazit

Die Studie zeigt, dass RapidEye-Daten ein hohes Potenzial zur Schätzung von forstlichen Kenngrößen besitzen. Eine deutliche Verbesserung der Ergebnisse konnte durch die Stratifizierung in Baumartengruppen unterschiedlicher Mischungen sowie durch die Verwendung mehrerer Aufnahmen aus einem Jahr erreicht werden. Für die flächige Schätzung zeigte sich, dass die verwendeten Spektralinformationen, Texturmerkmale und Indizes zur Erstellung linearer Regressionsmodelle für die forstlichen Kenngrößen gute Ergebnisse liefern konnte. Aufgrund des hohen Abdeckungsgrades der RapidEye-Fernerkundungsdaten und der hohen Wiederholungsrate sind die Daten sehr gut für die flächige Schätzung geeignet. Auch die Kosten für die Daten mit  $0,95 \text{ €}$  pro Quadratkilometer (bei der Verwendung von Archivdaten) liegen in einem günstigen Rahmen. Aufgrund dieser Vorteile bieten Fernerkundungsdaten die Möglichkeit, zeitnahe Informationen zu Veränderungen im Wald zu liefern und könnten daher zur Veränderungsanalyse verwendet werden. Auch hat sich gezeigt, dass es möglich ist, Eingangsgrößen für Wachstumssimulationen zu liefern. Ebenso bietet das erstellte Kartenmaterial eine gute Grundlage für die Planung von Managementmaßnahmen. Zusammenfas-

send kann gesagt werden, dass RapidEye-Fernerkundungsdaten auf Betriebsebene eine Vielzahl an Informationen wie die Waldfläche, Baumartengruppen und forstliche Kenngrößen liefern kann. Dadurch ist es für Monitoringzwecke und forstliche Managementplanungen gut geeignet.

## Literaturhinweise:

- [1] COBURN, C.; ROBERTS, A. (2004): A multiscale texture analysis procedure for improved forest stand classification. *International Journal of Remote Sensing*, 25, S. 4287-4308. [2] ELATAWNEH, A.; RAPPL, A.; RESHUSH, N.; SCHNEIDER, T.; KNOKE, T. (2013): Forest tree species identification using phenological stages and RapidEye data: a case study in the forest of Freising. In: Boldt (Hrsg.): 5. RESA workshop: From the basics to the service. GITO Verlag, Berlin, S. 23-38. [3] ELATAWNEH, A.; TIAN, J.; SCHNEIDER, T.; REINARTZ, P. (2012): Erkennen von Strukturveränderungen in heterogenen Waldgebieten: Welche Auflösung wird für Aussagen auf Betriebsebene benötigt? *AFZ-DerWald*, 67. Jg., Nr. 18, S. 17-19. [4] ELATAWNEH, A.; WALLNER, A.; MANAKOS, I.; SCHNEIDER, T.; KNOKE, T. (2014): Forest cover database updates using multi-seasonal RapidEye data – storm event assessment in the Bavarian Forest National Park. *Forests*, 5 (6), S. 1284-1303. [5] FELBERMEIER, B.; HAHN, A.; SCHNEIDER, T. (2010): Study on user requirements for remote sensing applications in forestry. *Proc. ISPRS Commission VII. Symp., Wien*, 1. bis 7. Juli 2010. [6] Bayerische Staatsforsten (2011): Richtlinien für die mittel- und langfristige Forstbetriebsplanung in den bayerischen Staatsforsten. Forsteinrichtungsrichtlinien – FER 2011 Grundwerk. Regensburg. [7] KAYITAKIRE, F.; HAMEL, C.; DEFOURNY, P. (2006): Retrieving forest structure variables based on image texture analysis and IKONOS-2 imagery. *Remote Sensing of Environment*, 102(3-4), S. 390-401. [8] LILLESAND, T.; KIEFER, R.; CHIPMAN, J. (2004): *Remote sensing and image interpretation*. 5. Aufl., John Wiley & Sons, USA. [9] OZDEMIR, I.; KARNIELI, A. (2011): Predicting forest structural parameters using the image texture derived from WorldView-2 multispectral imagery in a dryland forest, Israel. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(5), S. 701-710. [10] RAHLE, J. (2011): Möglichkeiten der Waldabgrenzung und Bestandeshöhenabschätzung mit Hilfe von LiDAR- und RapidEye-Daten. Masterarbeit, Freising. [11] RAPIDEYE AG (2011): Satellite imagery product specifications. Brandenburg an der Havel. [12] RICHARDSON, A.; EVERITT, J. (1992): Using spectral vegetation indices to estimate rangeland productivity. *Geocarto International*, 7, S. 63-69. [13] STONE, M. (1974): Cross-validatory choice and assessment of statistical predictions. *Journal of the Royal Statistical Society*, 36(2), S. 111-147. [14] WALLNER, A.; ELATAWNEH, A.; SCHNEIDER, T.; KNOKE, T. (2014): Estimation of forest structural information using RapidEye satellite data. *Forestry* doi: 10.1093/forestry/cpu032. [15] WUNDERLE, A.; FRANKLIN, S.; GUO, X. (2007): Regenerating boreal forest structure estimation using SPOT 5 pan sharpened imagery. *International Journal of Remote Sensing*; 28(19), S. 4351-4364.