

## Erfassung von Totholzflächen im Nationalpark Bayerischer Wald:

# Option automatisierter Luftbild-Auswertung bei Massenphänomenen



Von Thomas Schneider, Marco Heurich, Tobias Ochs, Klaus Martin, Heinrich Rall

*Heutige Fernerkundungs-Systeme bieten angemessene Datenqualitäten für nahezu alle Einsatzbereiche der Forstwirtschaft. Die Methoden der Bildanalyse über Auswertungs-Programme sind so weit entwickelt, dass die benötigte Information ohne weitere Interpretation durch einen Betrachter erhoben werden kann. Trotz der Kostenvorteile, die z.B. eine Studie zur Beobachtung des großflächigen Borkenkäfer-Befalls im Nationalpark Bayerischer Wald belegt hat, werden diese automatisierten Verfahren selten genutzt. Hohe Kosten bei der Systemumstellung, Fragen der Verfügbarkeit der Daten, aber auch das gewichtige Argument der Nachhaltigkeit der Erfassungsmethode werden als Erklärungen vorgeschlagen. Die Umstellung sollte vor allem für den Wirtschaftswald zur allgemeinen Inventurunterstützung in Erwägung gezogen werden.*

### Umfeld und Fragestellung

Dass die Fernerkundung schnell, flächig und kostengünstig Informationen liefern soll, kann sinngemäß seit bald fünfzig Jahren immer wieder gelesen werden. Automatisierte Verfahren der Luftbilderhebung und -auswertung könnten diese Forderung erfüllen. Für jede forstwirtschaftliche relevante Skalenebene, von der globalen über die regionale bis hin zur lokalen Ebene gibt es spezielle Verfahren. Warum werden sie nicht genutzt? Für einen Außenstehenden erscheint es widersinnig, dass in einem Bereich, in dem es (wirtschaftlich gesehen) auf die Zahl unter dem Strich ankommt und die Bilanzierung anhand von Statistiken erfolgt, Verfahren nicht angenommen werden, die Objekt-

merkmale flächengenau erfassen und statistisch abgesicherte Ergebnisse liefern.

Dies erstaunt umso mehr, als diese Verfahren Anknüpfungspunkte bieten, um sowohl den naturschutzfachlichen Forderungen von nationalen und internationalen Gesetzen, Richtlinien und Empfehlungen nachzukommen, für die ja teilweise Nachweis- und Berichtspflicht besteht (z.B. Natura 2000, FFH, WRR), als auch, um moderne Verfahren der Bewirtschaftung zu unterstützen: mit den ortstreuen Angaben kann etwa ein Harvester ebenso direkt gesteuert werden wie die gesamte Logistikkette des Holzabtransports.

Bei näherem Hinsehen stellt man schnell fest, dass es eher an organisatorisch/strukturellen Ursachen liegt denn an Schwächen der Methode Fernerkundung.

Verständlich erscheint, dass die hohe Schwelle der Eingangskosten eine große Rolle bei den Überlegungen zur Einführung neuer Verfahren spielt. Die Datenkosten alleine können es jedoch nicht sein. Kostenanalysen, durchgeführt für die Basisinventuren im Nationalpark Bayerischer Wald [1], ergaben rund 45€/ha für die konventionelle/terrestrische Vollaufnahme. Mit Unterstützung durch das derzeit wohl teuerste Fernerkundungsverfahren, das flugzeuggestützte Laser Scanning, konnten die Kosten sofort auf ca. 25€/ha gesenkt werden. Die Datenkosten schlugen dabei gerade einmal mit

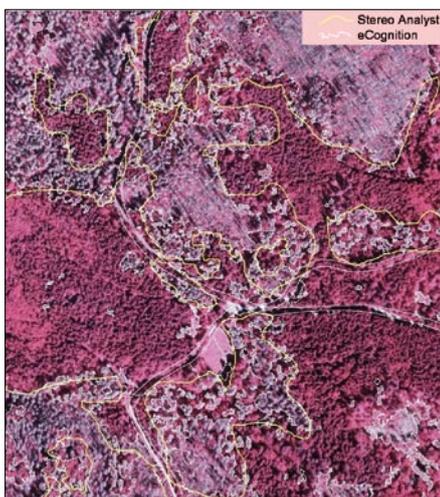
2,50 €/ha zu Buche! Kosten verursacht vor allem der Umstieg auf ein neues Gesamtsystem. Und, die Umstellung wirkt sich nur dann positiv auf die Gesamtbilanz einer Erhebung, eines operationellen Ablaufs aus, wenn das System durchgängig von der Planung über die Durchführung bis hin zur zielgerichteten Auswertung und Dokumentation auf die Methode Fernerkundung abgestimmt wird. Kosteneinsparung erbringt erst die Automatisierung geeigneter Arbeitsschritte.

Vor Einführung neuer Methoden sind aber auch andere Gesichtspunkte zu beachten. Beim Borkenkäfer-Monitoring im Nationalpark Bayerischer Wald z.B. wiegt ein anderes Argument wesentlich schwerer: die Forderung nach Vergleichbarkeit. Wenn diese nicht gegeben ist, werden langjährige Untersuchungen/Inventurreihen wertlos. Betrachtet man Ergebnisse dieser Studie [1, 3, 6, 7] zum Vergleich visueller und teilautomatisierter Erfassung von Borkenkäfer-Befallsflächen auf Basis von Orthophotos (Abb. 1 und 2), sind die Unterschiede zwischen „traditioneller“, auf visueller Interpretation beruhender, und „neuer“ Methode evident. Augenfällig ist zunächst der wesentlich höhere Detailliertheitsgrad der Ergebniskarte der teil-automatischen Erfassung mit der objektorientierten Methode. Die statistische Analyse ergibt abweichende Flächenbilanzen (Tab. 1). Für die Totholzflächen betragen die Unterschiede bis zu 15 %. Die Ergebnisse sind folglich nicht direkt vergleichbar.

Grundsätzlich erfüllen beide Verfahren die Vorgaben durch den Interpretationsschlüssel. Die neue Methode scheint genauer und objektiver, bietet darüber hinaus Potenzial zu Kosteneinsparungen. Im Falle des Nationalparks Bayerischer Wald müssten allerdings für eine konsistente Analyse der Borkenkäfer-Kalamität die Orthophotos der letzten Jahrzehnte jeweils geometrisch angepasst und anschließend mit der neuen Methode nachinterpretiert werden. Da die Befliegungen ohne differentielle GPS/INS Unterstützung erfolgt sind, ist eine

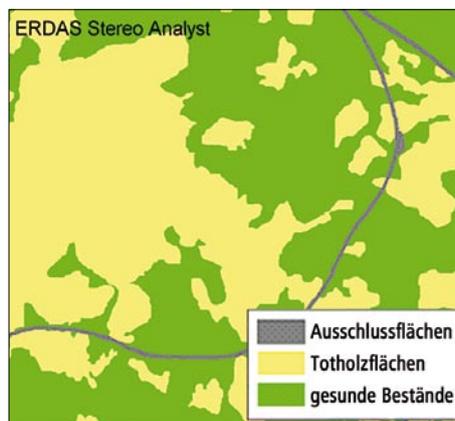
*Dr. T. Schneider ist wiss. Mitarbeiter am Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung der TUM. Dipl.-Forstwirt T. Ochs hat die hier diskutierten Ergebnisse im Rahmen seiner Diplomarbeit am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TUM erarbeitet. Beide Einrichtungen sind Teil des Zentrums Wald-Forst-Holz Weihenstephan. Dr. M. Heurich ist stellv. Sachgebietsleiter Forschung an der Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald. Dr. K. Martin ist Geschäftsführer des Sachverständigenbüros für Luftbildauswertung und Umweltfragen (SLU). Dr. H. Rall ist Sachgebietsleiter Forschung bei der Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald*

**Thomas Schneider**  
Tomi.Schneider@lrz.tum.de

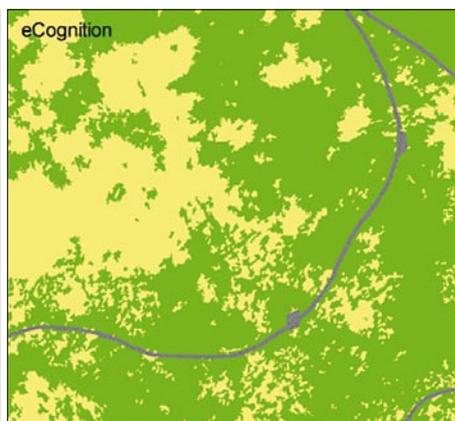


**Abb. 1:** Vergleich der Ergebnisse der eCognition und ERDAS Stereo Analyst Auswertungen. eCognition fährt Bestandesgrenzen akkurat ab und deliniert einzelne Bäume, während das visuelle Verfahren ein stark generalisiertes Ergebnis liefert.

lagegenaue Registrierung zwar möglich, jedoch sehr teuer [8, 9]. Es fragt sich, ob das Ergebnis den Aufwand rechtfertigt. Im Falle einer Monitoring-Aufgabe in einem Nationalpark ist dieses eine gesamtgesellschaftlich zu beantwortende Frage, für die gegebenenfalls ausreichend Forschungsmittel bereitgestellt werden müssten. Zum jetzigen Zeitpunkt hat die Vergleichbarkeit über die Jahre höchste Priorität. Folgerichtig sind die Auswertungen zur Fortschreibung der Borkenkäfer-Kalamität 2003 bis 2005 erneut mit dem traditionellen Verfahren durchgeführt worden [10, 11]. Dass nebenher, etwa zur Verfolgung wissenschaftlicher Ziele, auch das neue, automatisierbare Verfahren untersucht wird, ist eine Selbstverständlichkeit [1, 3, 7].



**Abb. 2a, b:** Ergebnisse der Klassifikation mit eCognition (rechts) und der visuellen Interpretation mittels Stereo Analyst (links). Flächengrößen, Kompaktheit und Homogenität zeigen deutliche Unterschiede.



Ähnliche Argumente zur Nachhaltigkeit des Datenbestandes gelten natürlich auch für eine Forstverwaltung. Der Unterschied ist, dass der Bedarf an abgeleiteter Information schmaler ist als das mögliche Nutzungsspektrum, weil z.B. die vielfältigen Forschungsaufgaben wegfallen. So spielt die Identifikation von Borkenkäfer-Totholzbäumen im Wirtschaftsbetrieb nur eine untergeordnete Rolle, da die befallenen Bäume ohnehin entnommen werden. Eine Umstellung macht hier nur im Gesamtrahmen eines fernerkundungsgestützten Inventur- und Monitoring-Systems Sinn, wird sich in den Bilanzen aber schnell positiv niederschlagen. Mit erheblichen zusätzlichen Kosten verbunden wäre allerdings die Schulung des Personals, das über alle Ebenen hinweg lernen muss, mit der neuen Informationsqualität umzugehen.

Denkt man jedoch an andere Einsatzbereiche, wenn es etwa darum geht, das Ausmaß von Schäden durch Kalamitäten zum Zwecke der Abgeltung zu ermitteln,

erscheint es zwingend geboten, eine Methode als Standard vorzuschreiben! Vonseiten der Fernerkundung wird die automatisierbare Methode vorgeschlagen.

## Rahmenbedingungen

Im Hinblick auf Inventur- und Monitoring-Verfahren für Massenphänomene mithilfe der Fernerkundung stellt sich die Frage, welche Rahmenbedingungen förderlich wären. Die Grundvoraussetzung, die Fernerkundung als Informationsquelle anzuerkennen, scheint in der Forstpraxis gewachsen. Bei der Veranstaltung der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft unter dem Titel „Der gepixelte Wald“ am 25. Januar 2008, wurde klar hervorgehoben, dass aktuelle Luftbilder sowie ein genaues Geländemodell die wichtigsten Eingangsinformationen z.B für die Risikoabschätzung im Schutzwald, aber auch für die Planung und Durchführung einer Schutzwald-Sanierung sind.

Diese Daten, Luftbilder wie Geländemodelle, werden durch die Landesvermessungsämter der Länder systematisch erfasst und archiviert. Allerdings sind diese Geodaten, zumindest in Bayern, nicht frei verfügbar. Für jedes neue Projekt müssen die Rechte zur Auswertung neu lizenziert und vor allem bezahlt werden. Der Verbreitung der vorgeschlagenen Auswertemethodik würde es sehr entgegenkommen, wenn die Nutzungsrechte solcher Daten freizügiger ausgelegt würden. Als Beispiel wäre hier das US-amerikanische Gesetz „Freedom of Information Act (FOIA)“ zu nennen, das als Initialzündung für die rasante Entwicklung der Geoinformatik weltweit gilt. Ein Ansatz wäre, die Daten zumindest für hoheitliche Aufgaben, etwa die Schutzwaldpflege, öffentliche Aufträge, aber auch für die Forschung an Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen, kostenfrei verfügbar zu machen. Dies umso mehr, als oftmals nicht die Daten als solche benötigt werden, sondern eine Referenzebene, anhand derer Veränderungen bewertet werden können. Die aktuelle Datengrundlage, etwa

## Borkenkäfer-Massenvermehrung im Luftbild

Um das Ausmaß der Borkenkäfermassenvermehrung im Nationalpark Bayerischer Wald zu dokumentieren, werden seit 1988 jährlich Farbinfrarotluftbilder (CIR) des Nationalparkgebietes aufgenommen [1]. Bis ins Jahr 2000 erfolgte die Auswertung der Luftbilder unter dem Stereoskop. Die Ergebnisse der visuellen Interpretation wurden per Hand auf eine über dem Luftbildpaar liegende Folie eingezeichnet. Auf einem Leuchttisch wurden die Folienskizzen dann händisch eingepasst und in die entsprechenden Karten übertragen. Seit 2001 werden die Luftbilder mit einem photogrammetrischen Scanner erfasst und danach digital bis zum Orthophoto („Luftbildkarte“) weiterverarbeitet. Die Interpretation der Totholzflächen erfolgt visuell durch 3D Betrachtung an einer digitalen Stereo-Arbeitsstation. Identifizierte Bereiche werden durch manuelles Nachfahren mit dem Cursor deliniert. Grundlage ist ein Interpretationsschlüssel der die kleinste zu erfassende Einheit als Kleingruppe mit zwei bis fünf Bäumen definiert [2]. Kritikpunkt bleibt die subjektive Auslegung durch den menschlichen Interpreten, der ein bereits bei der Interpretation generalisiertes

Ergebnis abliefern. Das Ziel sind daher automatisierte Auswertungsverfahren.

Die objekt-orientierte Methode von eCognition erlaubt eine zumindest teil-automatisierte Erfassung der Totholzflächen aus CIR Orthophotos. Der Kontrast zwischen abgestorbenen, skelettierten Bäumen und lebendigen, vitalen Bäumen ist so dominant, dass eine ja/nein Entscheidung im spektralen Merkmalsraum möglich ist. Durch Segmentierung anhand spektraler Kriterien werden die kleinsten Einheiten erfasst, in diesem Fall die einzelnen Totholzbäume. Auf einer höheren hierarchischen Ebene werden diese zu Flächen zusammengefasst. Die Regelwerke hierfür nutzen thematische GIS-Ebenen, spektrale, textuelle Informationen sowie Nachbarschaftsbeziehungen. Der Entscheidungsweg ist nachvollziehbar. Die Regelwerke können durch geringfügige Anpassungen auf andere Jahrgänge übertragen werden. Das Verfahren wurde anhand der Orthophotos der Jahre 2001 und 2002 entwickelt und getestet. [3]. Eine detaillierte Beschreibung des eCognition Ansatzes kann u.a. in [4, 5, 6] nachgelesen werden.

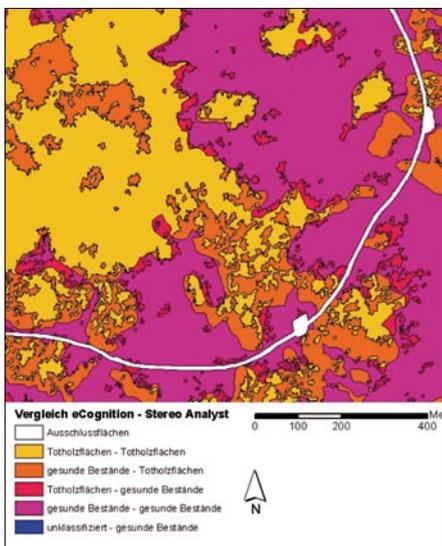


Abb. 3: Veränderung der Totholzflächen im Vergleich der Jahre 2001 und 2002, bestimmt mit der eCognition Methode. Die Entwicklung der rot dargestellten Flächen von ehemaligen Totholzflächen hin zu „gesunden“ Beständen ist durch Zunahme des Vegetationssignals zu erklären. Es wird vorgeschlagen, solche Flächen als „anlaufende Regeneration“ zu klassifizieren, bis der neue Bestand als etabliert gelten kann [3].

das Digitale Geländemodell (DGM) oder das Digitale Oberflächen-Modell (DOM), lässt sich heute im Bedarfsfall aus unterschiedlichen Quellen, mit den unterschiedlichsten Methoden schnell und mit hoher Präzision erstellen. Als Stichworte hierzu seien lediglich die Methoden der photogrammetrischen Luftbildauswertung und Laserscanning genannt.

Aufbauend auf eine gesicherte, regelmäßig in gleich bleibender Qualität verfügbare Datenbasis kann der Interpretationsschlüssel im Sinne fernkundlicher Datenerfassung angepasst werden. In der Studie aus dem Nationalpark Bayerischer Wald betreffen viele Fehlzusweisungen der automatisierten Methode Flächen mit bereits abgebrochenen Borkenkäfer-Totholz-Stämmen. Diese werden als vitale Vegetation klassifiziert, da im Orthophoto das Vegetationssignal die Rückstreuung des Totholzes überlagert. Im Rahmen eines auf regelmäßiges Monitoring mit Fernerkundungs-Methoden gestützten Konzeptes müsste der Interpretationsschlüssel dahingehend angepasst werden, dass eine Übergangsklasse für solche Flächen eingeführt wird, etwa „anlaufende Regeneration“ (Abb. 3). „Unschärfen“ aufgrund abweichender Filmmaterials (Abb. 4), unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte (Tageszeit und Vegetationsperiode), etc. werden bewusst in Kauf genommen. In den Folgejahren können diese Zuweisungen systematisch überprüft werden, die erste Diagnose kann bestätigt oder aber verworfen werden. „Zufall so weit zu verdichten, dass sich Ergebnisse mit Plausibilitätscharakter ergeben“ [12] kann als Leitlinie hierfür genannt werden. Das Verfahren funktioniert auch bei längerer

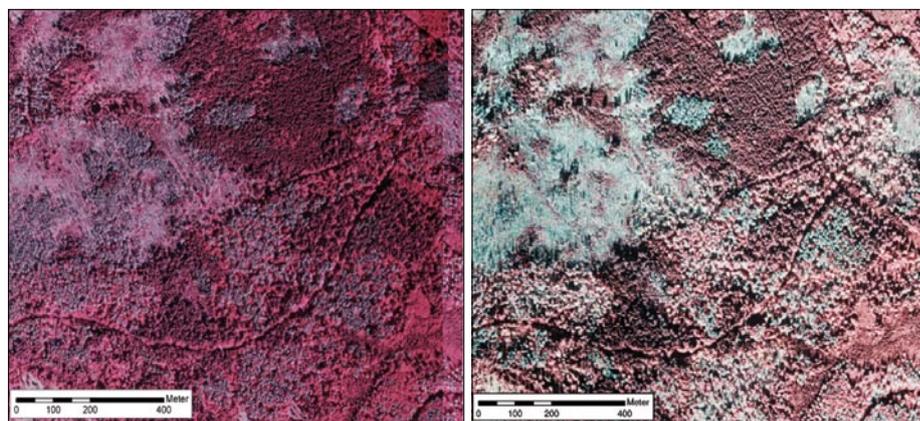


Abb. 4a,b: Referenzbild-Ausschnitt südlich des Großen Rachel. Links: CIR Mosaiks Aufnahme vom 2001, am rechten Bildrand sind typische Fehler des Mosaiks zu sehen: Farb- und Kontrastsprünge, Lagegenauigkeiten. Rechts: CIR Mosaik 2002. Der Farbeindruck zeigt den Einfluss des Filmmaterials.

Tab. 1: Auflistung der statistischen Auswertung der eCognition Klassifikation und der Interpretation mittels Stereo Analyst des CIR Luftbildmosaiks 2001, bezogen auf den Referenzbilddausschnitt in Abb. 4

Vergleich: Gesamtflächen	DEFINIENS eCognition			ERDAS Stereo Analyst		
	N	[ha]	[%]	N	[ha]	[%]
Totholzflächen	457	48,9	35,65	35	67,4	49,12
gesunde Bestände	61	88,2	64,33	39	69,8	50,88
unklassifiziert	10	0,03	0,02	-	-	-
Σ	528	137,1	100	74	137,1	100

Zyklen, etwa anhand der Echtfarben-Luftbilder der Bayerischen Vermessungsverwaltung (Bayernbefliegung), die in dreijährigen Rhythmus aufgenommen werden. Damit können auch Waldflächen, die deutlich seltener erfasst werden als das im Falle des Nationalparks Bayerischer Wald mit seiner speziellen Problematik erfolgt, systematisch und kostengünstig beobachtet werden. Im Sinne einer Kalamitäten-Präventions-Strategie ist ein besitzstandsübergreifendes Monitoring denkbar. Die Informationsverknüpfung zur Satellitenbild-Ebene ist in dem Konzept möglich, womit sogar ein einjähriger Beobachtungszyklus realisiert werden könnte, wenn auch bei geringerer Aussageschärfe für diese Zwischenaufnahmen via Satellit.

Den automatisierbaren Ansätzen kommt die in einigen Bundesländern bereits vollzogene Umstellung auf digitale Luftbild-Erfassungssysteme sehr entgegen. Automatisierte Auswertungsverfahren beruhen auf standardisierten Datensätzen, mit eindeutig zuordenbarer spektraler Information. Analoge Luftbilder haben einen sehr breiten Empfindlichkeitsbereich für jede der drei Farblagen und geben die physikalisch messbare spektrale Realität nur bedingt wieder. Das Scannen verfälscht diese „Farbinformation“ zusätzlich. Eine Norma-

lisierung oder gar spektrale Eichung des Systems ist nicht möglich. Einen Eindruck hierfür vermittelt Abb. 4. Zusätzlich spricht die deutlich höhere Überlappung für die digitalen Luftbilder. Im Nationalpark Bayerischer Wald konnte mit Datensätzen der Digitalen Metrischen Camera (DMC) bei 80 % Längs- und 60 % Querüberlappung eine Lagegenauigkeit des Endprodukts Orthophoto von unter einem Meter erreicht worden [9]. Dies vereinfacht die automatisierte Änderungsanalyse erheblich.

Auch in Zukunft mittels Fernerkundungsdaten nicht lösbar erscheint die Schadensprache nach Wildverbiss, Schäl-schäden oder mechanische Schäden durch Erntemaschinen sowie auch die Einschätzung des Totholzanteils in gesunden Wäldern. Die Frage sei aber erlaubt, ob bei einem Bewirtschaftungshorizont von mehreren Jahrzehnten bis Jahrhunderten diese Informationen nicht sukzessive durch unsystematische Begänge im Rahmen routinemäßig anfallender Waldarbeiten oder aber durch zielorientiert darauf abgestimmte Inventuren beige-steuert werden kann.

#### Literaturhinweise:

- [1] HEURICH, M. (2006): Evaluierung und Entwicklung von Methoden zur automatisierten Erfassung von Waldstrukturen aus Daten flugzeuggetragener Fernerkundungssensoren. Dissertation, TU München, Forstliche Forschungsberichte München. 202/2006. [2] RALL, H.; MARTIN, K. (2002): Luftbildauswertung zur Waldentwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald 2001 – Ein neues Verfahren und seine Ergebnisse zur Totholzkartierung. In: Berichte aus dem Nationalpark, Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald 1. [3] OCHS, T. (2003): Totholzinventur im Nationalpark Bayerischer Wald mittels objekt-orientierter Analyse digitaler CIR-Luftbilder; Diplomarbeit am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TU-München. [4] BURNETT, C.; BLASCHKE, T. (2004): Juxtaposing hierarchical patch dynamics and multiscale segmentation for landscape monitoring. Ecological Modelling Nr. 168(3), S. 233-249. [5] BENZ, U.; HOFMANN, P.; WILLHAUG, G.; LINGENFELDER, I.; HEYEN, M. (2004): Multiresolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. ISPRS Journal for Photogrammetry and Remote Sensing, Nr. 58, S. 239-258. [6] OCHS, T.; HEURICH, M.; SCHNEIDER, TH.; KENNEL, E. (2003): Entwicklung von Methoden zur semiautomatisierten Totholzinventur nach Borkenkäferbefall im Nationalpark Bayerischer Wald. Procc. AGIT 2003, Salzburg, Österreich. [7] HEURICH, M.; OCHS, T.; ANDRESEN, T.; SCHNEIDER, T. (eingereicht 2008): Object-orientated image analysis for the semi-automatic detection of dead trees following a spruce bark beetle (Ips typographus) outbreak. European Journal of Forest Research. [8] KRZYSZEK, P. (2003): Digitale Aerotriangulation im Nationalpark Bayerischer Wald. Interner Bericht. [9] KRZYSZEK, P.; Bögel, U. (2004): Orthofotoerstellung "Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald" 1994 und 2004. Unveröffentlichter Bericht. [10] HEURICH, M.; RALL, H. (2003): Hochlageninventur und Luftbildauswertung 2002. Ergebnisse der Untersuchung zur Waldentwicklung im Rachel-Lusen-Gebiet des Nationalparks Bayerischer Wald. Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Nr. 14. [11] HEURICH, M.; RALL, H. (2006): Hochlageninventur 2005 und Luftbildauswertung 2003 bis 2005. Ergebnisse zu Untersuchungen zur Waldentwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald; In: Berichte aus dem Nationalpark – Heft 3/2006, Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald. [12] Liesmann, K. P. (2006): Theorie der Unbildung: Die Irrtümer der Wissensgesellschaft. Zsolnay Verlag; S. 174.