



Einsatz von Change-Detection-Methoden bei der Fortführung von Versiegelungs- und Gebäudedatenbeständen

HEINER RÖSSMANN, JOACHIM PEYKER, ANDREAS VÖLKER & ADRIAN KLINK, Münster

Keywords: change detection, classification, update of paved surfaced area, photogrammetry

Zusammenfassung: Dieser Beitrag beschreibt ein in der Praxis eingeführtes und automatisiert ablaufendes Verfahren, bei dem auf Grundlage aktueller Orthophotos sowie eines normalisierten Digitalen Oberflächenmodells Veränderungen in einem Versiegelungsdatensatz bestimmt werden. Ziel des Verfahrens ist es, den bisherigen aufwändigen und fehlerträchtigen visuellen Vergleich von aktuellem Bildmaterial und zu aktualisierendem Datenbestand zu ersetzen und den Anteil manueller Arbeiten aus wirtschaftlichen Gründen gering zu halten. Im ersten Schritt wird eine objektbasierte Klassifizierung durchgeführt und mit den vorliegenden Gebäude- und Versiegelungsdaten verglichen. Aufgrund einer hohen Zahl von Fehlklassifizierungen, die durch Umklappeffekte im Orthophoto, Lage-differenzen von Versiegelungs- und Luftbilddaten oder Ähnlichkeiten von unbelaubten Bäumen und Dachstrukturen hervorgerufen werden, können die ermittelten Änderungen nicht als endgültiges Ergebnis der Veränderungsdetektion verwendet werden.

In einem zweiten Arbeitsschritt ist es erforderlich, die vorläufigen Änderungen im Rahmen eines Filterungsprozesses zu verifizieren. Für alle potentiellen Änderungen werden Form- und Größenparameter berechnet. Mittels empirischer Methodik können in Trainingsgebieten geeignete Schwellwerte für die Größenklassen und geometrische Kompaktheitsmaße bestimmt werden, mit denen sich Fehldetektionen und tatsächliche Veränderungen gut differenzieren lassen. Um zu gewährleisten, dass eine hohe Zahl der Veränderungsfälle erkannt wird, werden die Schwellwerte bei ihrer Festsetzung mit Sicherheitszuschlägen versehen. Dies bedingt im Gegenzug eine höhere Anzahl von angezeigten Änderungen, die tatsächlich keine Fortführungsfälle darstellen. Da diese Fehldetektionen einfach und schnell durch den Bearbeiter bei der Übernahme der Fortführungsergebnisse in den Versiegelungsdatenbestand erkannt werden, ist der zusätzliche Arbeitsaufwand hierfür gering.

Summary: *Application of Change Detection Methods for the Update of GIS Data of Sealed Surfaces and Buildings.* This paper describes an automated approach for the change detection of sealed surfaces based on current ortho photos combined with a normalized digital surface model. The method has been developed to improve the update process by reducing the work of visually comparing current images with archived data. The target is an optimization of both costs and quality by replacing a part of the manual search.

The first step is an object-based classification that is applied to compare the present status with existing sealing data. Due to lay-over effects, off-sets of sealing and aerial image data, and the similarity of leafless trees and roofs, a high misclassification-rate prevents the immediate use of the detected changes as the final result.

In a second step a filtering process is applied to the results based on shape and size. Three training areas are used to calibrate thresholds for size categories and geometric compactness in order to distinguish real and misclassified changes. Since a manual removal of the wrong changes is easy, priority is given to retain a complete set of real changes in order to achieve the best results.

1 Motivation

Der Aufbau von qualifizierten Geodaten ist regelmäßig mit einem erheblichen zeitlichen und wirtschaftlichen Aufwand verbunden. Dieser Aufwand ist nur dann zu rechtfertigen, wenn durch kontinuierliche Aktualisierung (Fortführung) ein Veralten der Daten verhindert und damit die Brauchbarkeit der Daten sichergestellt wird. Dabei stellt die Datenaktualität insbesondere in städtischen Ballungsgebieten wegen der hohen Veränderungsquote eine Herausforderung dar.

Geodatenaktualisierungen erfolgen entweder laufend oder in regelmäßigen Zyklen. Häufig werden Veränderungen durch Verwaltungstätigkeiten ausgelöst. Die Teilung von Flurstücken wird z. B. im Liegenschaftskataster durch örtliche Vermessungen erfasst, deren Ergebnisse dann in den Katasterdatenbestand eingepflegt werden. Fehlen verlässliche Informationen über einzelne Veränderungen, werden diese im Rahmen einer turnusmäßigen Aktualisierung bestimmt.

Orthophotos stellen eine wichtige Grundlage für zyklische Fortführungsarbeiten dar. Durch Vergleich des Bildinhaltes mit den aktualisierenden GIS-Daten können die Fortführungsfälle ermittelt und Änderungen mit Hilfe der Orthophotos (DOP) digitalisiert werden. Liegen orientierte Luftbilder vor, können auch 3D-Daten durch stereophotogrammetrische Auswertung bearbeitet werden.

Im vorliegenden Projekt werden abflussrelevante versiegelte Flächen regelmäßig in einem Zeitraum von 2 – 5 Jahren, d. h. je nach Datenverfügbarkeit, aktualisiert. Thematisch werden diese nach Dachflächen, öffentlichen Verkehrsflächen sowie privat versiegelten Flächen, welche zusätzlich in KFZ-befahrene und nicht befahrene Flächen untergliedert werden, differenziert.

Unser neues Verfahren wurde auf der Grundlage einer Aufgabenstellung des Lippeverbandes, einem großen Wasserverband in Nordrhein-Westfalen, entwickelt. Der Lippeverband besitzt für Planung und Betrieb von wasserwirtschaftlichen Anlagen wie Kanalnetzen, Kläranlagen oder Regenrückhaltebecken ein Kataster der versiegelten Flächen (VAUPEL & RÖSSMANN 2008), dessen Fortführung der Erprobung des neuen Verfah-

ren diene. Bisher wurden die Veränderungen durch eine operateurgestützte, manuelle Durchmusterung, nämlich die Überlagerung der aktuellen Orthophotos mit den fortzuführenden Versiegelungsdaten, bestimmt und für die Änderungsarbeiten im GIS-Datensatz gekennzeichnet. Der Durchmusterungsprozess ist sehr zeitaufwändig und auch fehlerträchtig bezüglich der vollständigen Erfassung sämtlicher Änderungen. Insofern ist es naheliegend, Veränderungen nicht durch visuellen Bildvergleich, sondern mit Hilfe automatisierter Veränderungsdetektion festzustellen (engl.: change detection). Dabei sollen im vorliegenden Fall die Mindestanforderungen, Detektion der Flächenänderungen im Gebäudebestand größer als 80 m² und entsprechende Änderungen der versiegelten Flächen größer als 150 m², erfüllt werden.

2 Veränderungsdetektion in der Fernerkundung

In der Fernerkundung werden Verfahren, die Analysen bzgl. Veränderungen des Oberflächenzustandes der Erde durchführen, als Veränderungsdetektion bezeichnet. Ein themenübergreifendes, sehr differenziertes Methodenreview zur Veränderungsdetektion bietet SINGH (1989). Ein Überblick über deren Verwendung im Umweltmonitoring findet sich bei COPPIN et al. (2004).

Methoden zur Veränderungsdetektion werden häufig in zwei Gruppen geteilt: Bild-zu-Bild-Vergleiche (Prä-Klassifizierung) entstehen durch die Differenzbildung der Spektralwerte zweier Bilder, die ggf. durch vor- oder nachgelagerte Transformationen und Filterungen präzisiert werden. Als Post-Klassifizierung werden Verfahren bezeichnet, die zu verschiedenen Zeitpunkten erzeugte Interpretationen eines Gebietes vergleichen, was zur Voraussetzung hat, dass mindestens zwei vollständige Klassifizierungen des gesamten Gebietes vorliegen (LANG & BLASCHKE 2007). Auch die Kombination beider Ansätze ist möglich, indem eine vorhandene Klassifizierung anhand aktueller Bilddaten auf spektrale oder geometrische, direkt oder indirekt detektierbare Änderungsindikatoren geprüft wird (BÜSCHER et al. 2008, LANGANKE & LANG 2004).

MAS (1999) vergleicht die Methoden Kanal- und Indextdifferenzbildung, selective principal components analysis, direct multi-date classification sowie Post-Klassifizierung. Es wird gezeigt, dass Post-Klassifizierungs-Methoden in der Regel genauere Ergebnisse liefern. Bild-zu-Bild-Vergleiche reagieren häufig zu sensibel auf Unterschiede in der Bodenfeuchte oder der Vegetationsphänologie. Auch lassen Post-Klassifizierungs-Methoden direkte Rückschlüsse auf die jeweiligen Klassenwechsel zu. Als weiterer Vorteil wird die Möglichkeit genannt, bei der Post-Klassifizierung spektral sehr ähnliche Klassen mit hohem Verwechslungspotential zu einer gemeinsamen Klasse zu generalisieren, um Fehlauseisungen zu verringern.

Im städtischen Umfeld beziehen sich Veränderungenskartierungen häufig auf die Detektion von Gebäuden: BOUZIANI et al. (2010) beschreiben eine objektbasierte Klassifizierung von Gebäuden, die auf einer präzisen Modellierung der Objektklassen und ihrer Änderungswahrscheinlichkeiten aufbaut und deren Ergebnis mit bestehenden kartographischen Daten abgeglichen wird. Neue Gebäude werden zu 90% (mit 80% ihrer Fläche) gefunden, jedoch weicht die Lagegenauigkeit mit 3 – 4 Pixeln häufig von den exakten Konturen der Gebäude ab. CHAMPION et al. (2009) vergleichen Luftbilder, Satellitenbilder und LIDAR-Daten als Input für vier verschiedene Gebäude-Veränderungsdetektionsmethoden: eine an Primitiven orientierte Matchinganalyse, eine objektbasierte DSM- und CIR-Orthophoto-Klassifizierung, eine geometriebasierte Gebäudedetektion sowie ein pixelbasierter Dempster-Shafer-Fusionsprozess. Generell lassen sich mit den beschriebenen Ansätzen 80% – 90% der Gebäude verifizieren, so dass sie keiner weiteren manuellen Prüfung bedürfen. Probleme bestehen jedoch häufig in der Erkennung sehr kleiner Änderungen.

Die im Folgenden beschriebene Methode nutzt einen Post-Klassifizierungsansatz und erfasst nicht nur Änderungen von Gebäuden, sondern bezieht auch verschiedene versiegelte Oberflächen als charakteristische Merkmale städtischer Räume in das Verfahren mit ein. Diese objektbasierte Klassifizierung wird mit GIS-basierten Filterprozessen kombiniert, die Fehlklassifizierungen erheblich reduzieren.

3 Verwendete Daten und Projektgebiet

Das durch den Auftraggeber definierte Projektgebiet im Bereich der Stadt Oer-Erkeschwick weist eine Fläche von etwa 34 km² auf. Außerdem wurden orientierte Luftbilder und Orthophotos (DOP) mit einer Bodenauflösung von 20 cm, ein amtliches digitales Geländemodell mit einer Gitterweite von 10 m und die fortzuführenden Versiegelungsflächen zur Verfügung gestellt. Der Versiegelungsdatensatz hat den Aktualitätsstand Frühjahr 2007 und weicht in der Lage gegenüber den Orthophotos vom März 2012 um bis zu 2 m ab. Im Mittel beträgt der Versatz etwa 0,7 m. Die Ursache hierfür liegt in der Arbeitsweise begründet, mit der Anfang der 90er-Jahre die photogrammetrische Erstaufnahme der versiegelten Flächen beim Auftraggeber durchgeführt wurde. Im Gegensatz zum heute üblichen Vorgehen wurden die Luftbilder nicht im Rahmen einer Aerotriangulation in einem Zuge orientiert, sondern modellweise auf der Grundlage von analogen topographischen Karten, die durch bergbaubedingte Bodenbewegungen veraltet waren und insofern keine geometrisch exakten Einpassunterlagen darstellten. Die Abweichungen sind unsystematisch und könnten nur aufwändig durch eine feinstufige blockweise Transformation beseitigt werden. Die Lagerichtigkeit steht jedoch gemäß dem Einsatzzweck der Daten für die Mengenermittlung von Niederschlagswasser aus ökonomischen Gründen hinter einer hinreichenden Flächentreue zurück. Die Eignung der Daten zur automatischen Veränderungsdetektion stand daher bei der Festlegung der Fortführungsregeln durch den Auftraggeber naturgemäß nicht im Vordergrund. Für das nachfolgend beschriebene Verfahren muss daher der Umstand besondere Berücksichtigung finden, dass Bild- und fortzuführende Vektordaten nicht exakt deckungsgleich sind. Bereits existierende und dokumentierte Change-Detection-Verfahren, die diese besonderen Ausgangsbedingungen berücksichtigen, waren im Projektzeitraum nicht zu ermitteln.

4 Segmentierung

Bei der zur Veränderungsdetektion eingesetzten objektbasierten Klassifizierung werden die Orthophotos in spektral homogene Bereiche unterteilt (Segmentierung). Hierbei kommt die Software Definiens Developer 7 (eCognition) zum Einsatz. Der angewendete Segmentierungsalgorithmus basiert auf dem Fractal Net Evolution-Ansatz von BAATZ & SCHAPE (1999). Da der Algorithmus auch hierarchische Segmentierungen ermöglicht, wird er „Multiresolution Segmentation“ (MRS) genannt und verwendet Inhomogenitäts- (scale), Form- (shape) und Kompaktheitsparameter (compactness).

Angewandt wird ein für großflächige Bearbeitungen geeignetes lineares Verfahren, in dem auf die Segmentierung eine überwachte Klassifizierung (siehe Abschnitt 5) folgt. Entsprechend gewählte Segmentierungsparameter (siehe Tab. 1) ermöglichen eine weitestgehend scharfe Abgrenzung von Objekten wie z. B. Gebäuden, Straßen und Wegen. Zusätzlich wird aus einem digitalen Oberflächen- und einem digitalen Geländemodell ein Differenzmodell (normalisiertes digitales Oberflächenmodell) abgeleitet. Da für das Projekt kein geeignetes Oberflächenmodell zur Verfügung stand, wurde dieses mit Hilfe des Programms MATCH-T DSM (INPHO) aus den orientierten Luftbildern generiert (LEMAIRE 2008). Das normalisierte digitale Höhenmodell wird genutzt, um spektral ähnliche benachbarte Bild-



Abb. 1: Segmentierung eines RGB-Luftbildes (DOP: © Aerowest).

bereiche voneinander zu trennen, die aber zu verschiedenen Objekten gehören, z. B. graues Dach und angrenzende Asphaltfläche. Es wird im eingesetzten Verfahren bewusst eine Übersegmentierung verwendet, d. h. Objekte werden in mehrere Bildsegmente zerlegt. Dies vermindert fehlerhafte Grenzziehungen und Mischspektren bei der Klassifizierung. Im Folgeschritt werden Segmente einer Klasse zu größeren Objekten zusammengefasst, so dass ein hierarchischer Aufbau von Bildobjekten über mehrere Ebenen erfolgt.

Die Ergebnisse der Segmentierungsstrategie zeigen gute Übereinstimmung mit den Realobjekten in den Bilddaten (siehe Abb. 1). Die Polygongrenzen des Versiegelungs- und Gebäudedatensatzes werden unverändert in den Segmentierungsprozess übernommen, was bei der Änderungsdetektion (siehe Abschnitt 6) den direkten Vergleich der Klassifizierungsergebnisse mit den Objekten des fortzuführenden Datensatzes ermöglicht. DURO et al. (2013) stellen unterschiedliche Segmentierungsstrategien für verschiedene Veränderungsdetektionsansätze gegenüber. Der hier gewählte Ansatz wird als hybride Methode zum Vergleich verschiedenartiger Quellen bezeichnet.

Tab. 1: Segmentierungseinstellungen für Multiresolution Segmentation (MRS).

Segmentierung	Segmentierungsparameter			Layergewichtung			
	scale	shape	compactness	R	G	B	DSM
MRS	10	0.1	0.7	3	3	1	0
MRS (merge only)	15	0.3	0.3	1	1	3	0
	20	0.1	0.1	5	5	1	0
	25	0.1	0.1	3	4	3	0
MRS	15	0.3	0.3	1	3	1	10

5 Klassifizierung

Die Klassifizierung der Bildobjekte erfolgt hierarchisch anhand ihrer spektralen Eigenschaften, den zugeordneten Höheninformationen des normalisierten digitalen Oberflä-

chenmodells sowie geometrischer Merkmale wie Form und Größe. Folgende Charakteristika der Klassen bestimmen maßgeblich das Regelwerk (siehe Abb. 2):

- ‚Schatten‘ werden anhand der (geringen) Helligkeit der Bildobjekte klassifiziert.
- Die Trennung von ‚Vegetation‘ und ‚Nicht-Vegetation‘ erfolgt per modifiziertem Grünindex (1) mit den Schwellwerten $\geq 0,07$ für ‚Vegetation‘ und $\leq 0,05$ für ‚Nicht-Vegetation‘. Die Restmenge wird als ‚vegetationsarm‘ klassifiziert.
- ‚Gebäude‘ (hoch, niedrig) und ‚bodennahe versiegelte Flächen‘ werden durch das normalisierte Höhenmodell differenziert. Hierbei gilt ein Schwellwert für ‚niedrige Baukörper‘ (Garagen / Schuppen) von $h \geq 1,7$ m und für ‚hohe Gebäude‘ von $h \geq 3,2$ m, kleinere Werte werden der Klasse ‚Versiegelung / Boden‘ zugeordnet.
- Eine weitere Unterteilung der ‚Nicht-Vegetation‘ findet anhand der spektralen Eigenschaften statt. Diesbezüglich werden ‚graue‘, ‚rote‘ und ‚sonstige‘, z. B. gelbliche und bräunliche, Bodenflächen unterschieden. Zur besseren Differenzierung wird der RGB-Farbraum in den IHS-Farbraum (Intensity, Hue, Saturation) gewandelt.

- Die Höhentrennung wird auch für ‚Schatten‘ und ‚Vegetation‘, z. B. Baum und niedrig, durchgeführt.
- Selbiges gilt für die ‚vegetationsarme Klasse‘ als Übergang zwischen ‚Vegetation‘ und ‚Versiegelung‘.
- Formkriterien (Breiten-/Höhenverhältnis) und Nachbarschaften werden verwendet, um Versiegelungsflächen als geschlossene ‚Verkehrsflächen‘ zu erkennen.

Die Grundlage für derartige Ansätze bildet häufig Farbinfrarot-Bildmaterial. LI et al. (2007) nutzen 4-Kanal-Bilder mit den Kanälen Rot, Grün, Blau (RGB) und nahem Infrarot (NIR) zur Detektion von Wasser, Schatten, Vegetation, Gebäuden und Straßen, ZHOU et al. (2009) setzen für ihre Untersuchungen 3-Kanal-CIR-Daten (Colour-Infrared: NIR, Rot und Grün) ein.

Im vorliegenden Projekt muss hingegen auf die Informationen des NIR-Kanals verzichtet werden, da nur RGB-Bilder zur Verfügung stehen. Für die Klassifizierung der Vegetation wird deshalb statt des üblicherweise eingesetzten normalisierten differenzierten Vegetationsindex (NDVI), der die Infrarotinformationen berücksichtigt, ein modifizierter Vegetationsindex für grün ($VI_{\text{grün}}$) eingesetzt (KLINK et al. 2008):

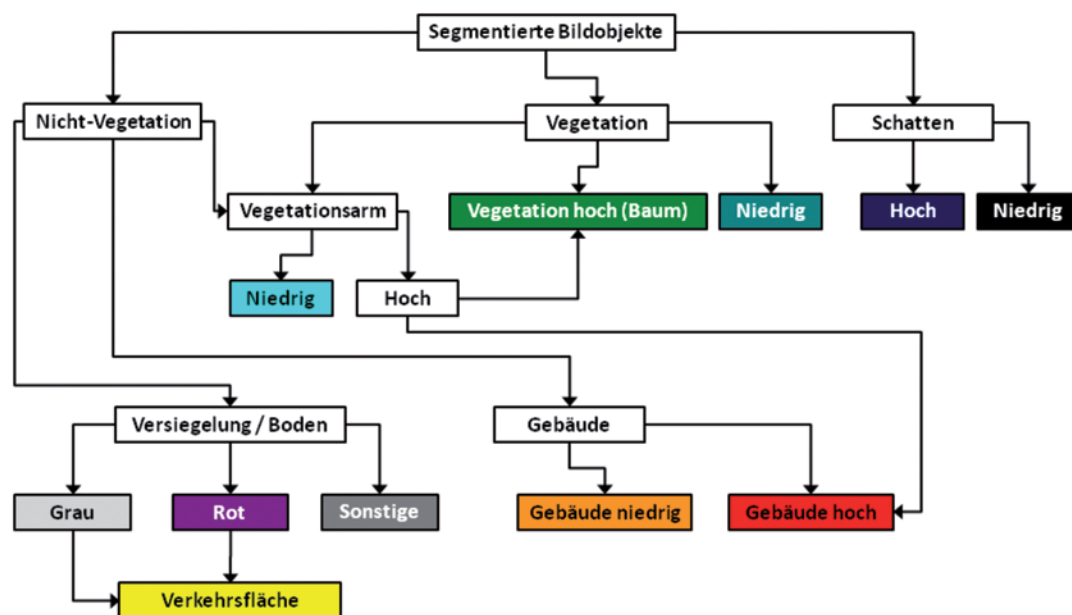


Abb. 2: Schematischer Ablauf der Klassifizierung.

$$VI_{\text{grün}} = \frac{(\alpha+\beta) \times \text{Grün} - \alpha \times \text{Rot} - \beta \times \text{Blau}}{(\alpha+\beta) \times \text{Grün} + \alpha \times \text{Rot} + \beta \times \text{Blau}} \quad (1)$$

mit

$$\alpha = 1$$

$$\beta = 2$$

Bei Nahaufnahmen empfehlen RICHARDSON et al. (2007) eine gleiche Gewichtung der Kanäle Rot und Blau, verzichten jedoch auf eine Normalisierung, d. h. es wird nur die einfache Differenz aus zweimal Grün reduziert um Rot und Blau verwendet. Andere Autoren, z. B. MOTOHKA et al. (2010) empfehlen auf den blauen Kanal gänzlich zu verzichten, da dieser am stärksten durch atmosphärische Effekte beeinflusst wird. Eigene Untersuchungen zeigen, dass ein Grünindex mit höherer Gewichtung des blauen und geringerer Gewichtung des roten Kanals sehr gute Klassifizierungsergebnisse im Hinblick auf die Veränderungsdetektion von Versiegelungsflächen liefert. Bei der im Vergleich zu Satellitenbildern geringen Aufnahmehöhe von hochauflösenden Luftbilddaten zeigen sich atmosphärische Effekte überwiegend nur in Schattenbereichen, die als eigene Klasse in die Veränderungsdetektion eingehen. Die geringere Gewichtung des Rotkanals kann bei Vorbelaubungsbildflügen mit den häufig in der Vegetation vorkommenden Gelbtönen erklärt werden, weil dabei die Unterschiede des Rot- und Grünkanals auch bei Vegetation gegen Null tendieren. Vergleichbare Effekte werden auch im von GETELSON et al. (2002) postulierten robusten Verfahren zur Klassifizierung von Vegetation mit gelben und grünen Blattpigmenten beschrieben, das mit einer anderen Zielstellung auf Satellitenbilder angewandt wurde. Dort wird der Vorteil der normalisierten Grün-Rot-Differenz gegenüber dem NDVI zur Unterscheidung verschiedener Vegetationszustände hervorgehoben. Gerade diese Unterscheidbarkeit ist für die Veränderungsdetektion von Versiegelungsflächen jedoch unerwünscht und wird bewusst minimiert.

Ein elementares Problem bei der Klassifizierung ergibt sich aus dem Aufnahmezeitpunkt des zur Verfügung stehenden Luftbildmaterials. Dieses wird regelmäßig im Frühjahr vor Eintritt der Belaubung erstellt, um für ma-

nuelle operateurgestützte Auswertungen eine gute Bodensicht zu gewährleisten, die nicht durch belaubte Bäume gestört wird. Spektral können unbelaubte Bäume im RGB-Farbraum kaum von Gebäuden unterschieden werden. Außerdem haben Bäume eine vergleichbare Höhe, so dass eine Trennung anhand der Daten des normalisierten digitalen Oberflächenmodells ebenfalls nicht möglich ist. Der Klassifizierungsprozess wird deshalb so gesteuert, dass alle Gebäude korrekt klassifiziert werden, auch unter Inkaufnahme von fehlklassifizierten Bäumen. Durch dieses Vorgehen wird sichergestellt, dass alle Veränderungen im Gebäudebestand erfasst werden. Die Klassifizierungsfehler in der Gebäudeklasse (unbelaubte Bäume) können mit Hilfe von Form- und Größenparametern identifiziert werden. Diese Fehlerbereinigung wird im vorliegenden Projekt nicht bei der Klassifizierung selbst durchgeführt, sondern erst im Rahmen einer Nachbearbeitung der Ergebnisse der Veränderungsdetektion (siehe Abschnitt 6), bei der

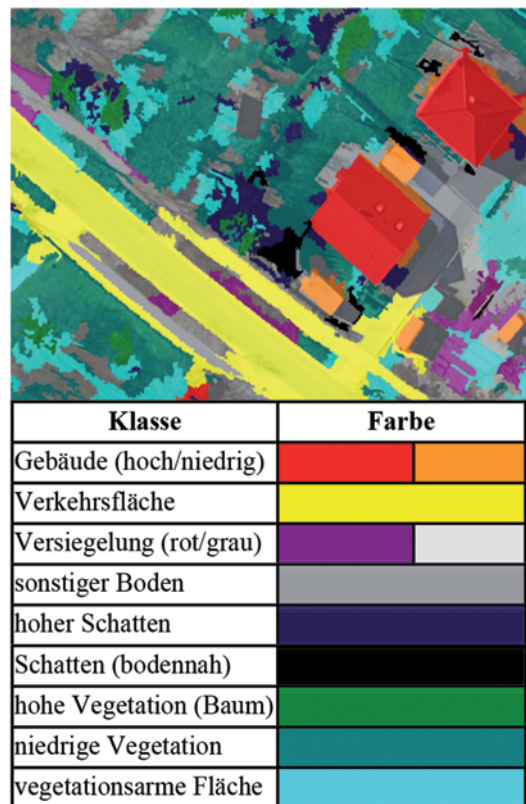


Abb. 3: Klassifizierung der Bildobjekte (mit Legende).

Tab. 2: Zuordnungsmatrix der Veränderungsdetektion.

Ergebnis der Veränderungsdetektion		Versiegelungs- und Gebäudedaten		
		Gebäude	Versiegelung	Vegetations- und offene Bodenflächen
Klassifizierung	Gebäude (hoch/niedrig)	bestätigt	neues Gebäude	neues Gebäude
	Verkehrsfläche	Gebäudeabriss	bestätigt	neue Versiegelung
	Versiegelung (rot/grau)	Gebäudeabriss	bestätigt	neue Versiegelung
	sonstiger Boden	Gebäudeabriss	–	–
	hoher Schatten	–	–	–
	Schatten (bodennah)	Gebäudeabriss	–	–
	hohe Vegetation (Baum)	Nachbearbeitung	–	–
	niedrige Vegetation	Gebäudeabriss	Versiegelung entfällt	bestätigt
	vegetationsarme Flächen	Gebäudeabriss	–	–

insbesondere räumliche GIS-Abfragen und GIS-Operationen erforderlich sind.

Um bei der Veränderungsdetektion auch spektral schwierig zu klassifizierende Objekte den Objektklassen des Versiegelungs- und Gebäudedatensatzes zuordnen zu können, werden anhand der Objekthöhen Unterklassen gebildet, wie z. B. ‚niedrige Gebäude‘, z. B. Garagen und Schuppen, und ‚hoher Schatten‘, z. B. Schatten auf Gebäuden. Darüber hinaus werden ‚versiegelte Flächen‘ auf Basis ihrer spektralen Merkmale in die Unterklassen ‚rote‘ und ‚graue‘ Versiegelung eingeteilt, um Fehlklassifizierungen zu minimieren und erst im Anschluss durch geometrische Merkmale zusammenhängende ‚Verkehrsflächen‘ erkennen zu können (siehe Abb. 3). So werden beispielsweise Asphaltfahrbahn und benachbarter Rad- und Fußweg fusioniert.

6 Veränderungsdetektion

Bei der Veränderungsdetektion auf Basis einer Post-Klassifizierung werden die Ergebnisse zweier Klassifizierungen miteinander verglichen (siehe Abb. 4). Die zu aktualisierenden Versiegelungs- und Gebäudedaten sind das Ergebnis einer früheren photogrammetrischen Auswertung. Diese werden den aktuellen, automatisch klassifizierten und in den Orthophotos erkennbaren Landbedeckungsklassen gegenübergestellt.

Zunächst werden die Gebäude in beiden Datensätzen miteinander verglichen und bei Übereinstimmung als unverändert gekennzeichnet. Das Vorliegen von ‚hohem Schatten‘ wird ebenfalls als Indiz für unveränderte Gebäude gewertet. Hingegen weisen Klassen mit geringen Objekthöhen, wie z. B. ‚vegetationsarme Flächen‘ oder ‚sonstige Bodenflächen‘, auf einen Gebäudeabriss hin (siehe Tab. 2). Lageungenauigkeiten zwischen Bilddaten und Höhenmodell führen zwar zur fehlerhaften Annahme eines Gebäudeabrisses, jedoch sind die betroffenen Flächen in der Regel vergleichsweise klein und können über Regeln zur Mindestflächengröße eliminiert werden.

Neue Gebäude- und Versiegelungsflächen sind häufig infolge von Verdeckungen im Bildmaterial oder durch Schattenwurf in Einzelflächen zergliedert. Um dieser unerwünschten Separation entgegenzuwirken, wird versucht, die Lücken in den Änderungsflächen zu schließen. Hierzu werden benachbarte ‚Schatten‘ und ‚vegetationsarme Flächen‘ den detektierten Neuf Flächen bei Vorliegen ausreichender Form- und Größenparameter zugeschlagen.

Nutzungsänderungen innerhalb der bodennahen Klassen lassen sich nur schwer ermitteln. Eine Änderungsdetektion ist hier in der Regel für kleine Flächen nicht möglich. Auch beim Vorliegen größerer Flächen sind ermittelte Änderungen mit einer großen Unsicherheit behaftet. So kann der durch Standortauf-

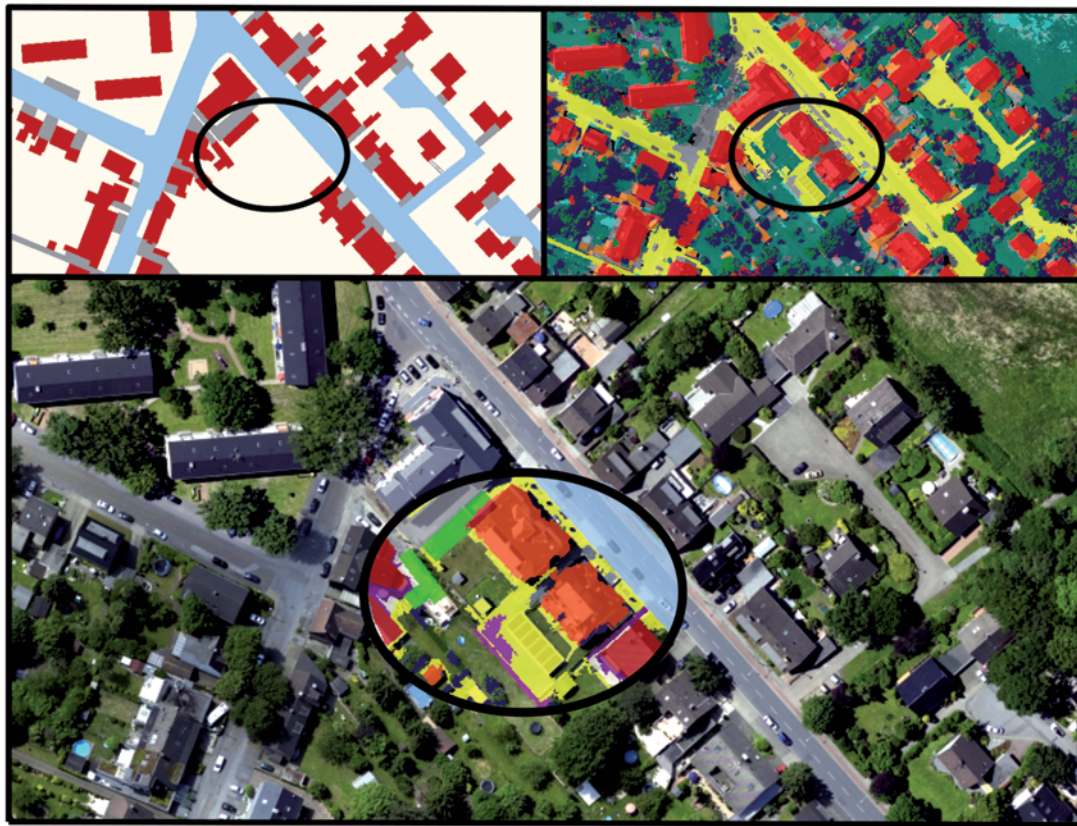


Abb. 4: Veränderungsdetektion (oben links: Ausgangsdatensatz, oben rechts: Klassifizierung, unten: Differenzen, orange: neue Gebäude, gelb: neue Versiegelung, grün: Gebäudeabgang, violett: unbestimmt; *DOP: © Aerowest*).

gabe von Industrie- und Gewerbebetrieben bedingte Wechsel von versiegelten Bodenflächen in die Klasse ‚vegetationsarm‘ nicht sicher detektiert werden. Der Übergang von Vegetationsflächen zu versiegelten Bodenflächen wird bei relevanter Größe aber zuverlässig als Veränderung erkannt.

7 Nachgeordnete Filtermethoden

Durch den unbelaubten Bildflug ergeben sich für die Effizienz des eingesetzten Change-Detection-Verfahrens zusätzliche Herausforderungen. Aus der spektralen Ähnlichkeit der Bildpixel von unbelaubten Baumkronen und Dachflächen und deren vergleichbaren Verteilung in der Höhe resultiert ein erhöhter Anteil von Fehldetektionen. Höhere, insbesondere kompakt gewachsene Baumkronen und solche mit Grenzlage zu anderen Gebäuden, wer-

den als ‚neue Gebäude‘ ausgewiesen. Gleichwohl ist die Detektion der tatsächlich gesuchten neuen Dachflächen weiterhin ähnlich erfolgreich wie bei der Prozessierung belaubter Bildflüge. Weitere Fehlklassifizierungen werden durch die im Orthophoto versetzt abgebildeten Dächer (Umklappeffekt) in Kombination mit einem im Bereich der Hauswände nicht steil genug abfallenden digitalen Oberflächenmodell verursacht. Letzteres resultiert aus der Standardüberdeckung der Bildflugstreifen von 30%, die zu vergleichsweise großen sichttoten Räumen im Streifenüberlappungsbereich führt, in denen keine DSM-Generierung möglich ist. Auch der Lageversatz zwischen originalem Versiegelungs- und Gebäudedatensatz und Bildmaterial führt oftmals zu vermeintlichen Gebäudeerweiterungen. Addieren sich die Effekte, können diese Erweiterungen die projektbezogene Mindestgröße neuer Gebäude von 80 m² deutlich überschreiten.

Tab. 3: Schwellwerte für das nachgeordnete Filterverfahren.

Change-Detection-Flächen	Schwellwerte zur Selektion
neue Gebäude < 80 m ²	nicht projektrelevant
200 m ² > neue Gebäude ≥ 80 m ²	K1 > 0,32 v K2 > 10
neue Gebäude > 200 m ²	K1 > 0,4 v K2 > 12
Gebäudeabgang ≥ 50 m ²	K1 > 0,15 v K2 > 2
Gebäudeabgang < 50 m ²	nicht projektrelevant
neue versiegelte Flächen < 150 m ²	nicht projektrelevant
neue versiegelte Flächen ≥ 50 m ²	K2 > 3
Abgang versiegelter Flächen	keine weitere Filterung

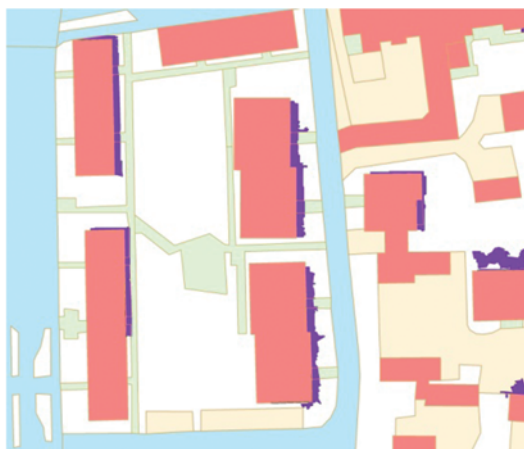
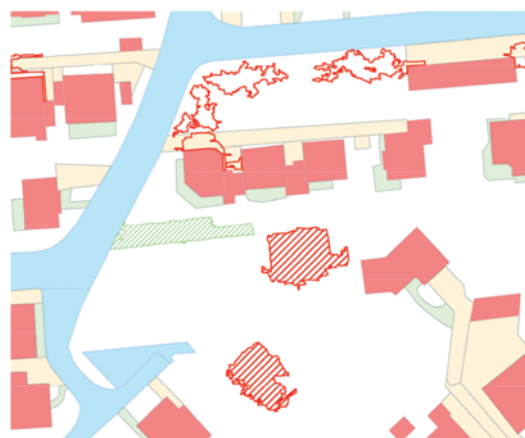
Für Gebäudeabgänge stellt sich generell eine andere Situation dar. Die hier vergleichsweise selten verursachten Fehldetektionen unterscheiden sich bezogen auf Form und Größe nicht von den korrekten Detektionen und werden daher im vorliegenden Projekt durch die eingesetzten und nachstehend beschriebenen Methoden bewusst weniger stark gefiltert.

Der durch die Fehldetektionen bedingte Aufwand für die nachgelagerte manuelle Verifikation der postulierten Neubebauungen soll jedoch im Interesse eines insgesamt wirtschaft-

lichen Verfahrens gering gehalten werden. Die nachgeordnete Filterung hat deshalb die Aufgabe, die vegetationsbedingten Fehldetektionen signifikant zu reduzieren, ohne zugleich Qualitätsabstriche bei den korrekt gefundenen Gebäudeveränderungen hinnehmen zu müssen. Für neue Bodenversiegelungen gilt diese Maßgabe eingeschränkt ebenso. Auch hier sollten jedoch die Filtermethoden weniger stark in den Änderungsdatensatz eingreifen, da hier die Größen- und Formenvielfalt keine zuverlässige Unterscheidung beispielsweise zwischen hell rückstrahlenden Rohböden und tatsächlich versiegelten Flächen zulässt.

Bei einer Klassifizierung stellt die Differenzierung von Baumkronen und Gebäuden für das menschliche Auge aufgrund der unterschiedlichen Art der Begrenzung in der Regel keine Schwierigkeit dar. Während Gebäude häufig geradlinige Randlinien und eine kompakte Form aufweisen, sind Baumkronen eher unregelmäßig begrenzt und haben eine unbestimmte, diffuse Form. Um die Unterschiede für einen automatischen Prozess zu parametrisieren, wurden für jedes detektierte Änderungspolygon Umfang (U), Fläche (A), geometrische Kompaktheit K1 (A/U^2) und größenabhängige geometrische Kompaktheit K2 (A/U) berechnet.

Zur Ermittlung geeigneter Parametersätze für die Aufdeckung der Fehldetektionen wurden drei verschieden strukturierte Trainingsgebiete mit jeweils einer Größe von 1 km² manuell an einer Stereostation ausgewertet, wobei durch das Vieraugenprinzip eine hohe

**Abb. 5:** Eliminierte scheinbare Gebäudeerweiterungen.**Abb. 6:** Detektierte Neubebauungen (schraffiert) und Baumkronen (offen) nach Filterung.

Tab. 4: Reduktionsbilanz der Filterung.

Change-Detection-Datensatz 2007/2012	Neue Gebäude	Gebäudeabgang	Neue versiegelte Flächen
(Projektgebiet 34 km ²)	> 80 m ²	> 50 m ²	> 150 m ²
CD Datensatz (Rohwerte)	1675	147	727
CD Datensatz gefiltert	367	85	112
verifizierte Polygone	340	60	88

Güte des erzielten Ergebnisses gewährleistet wurde. Ausgewählt wurden drei Gebiete, die möglichst allgemeingültig die unterschiedlichen Möglichkeiten der relativen Lage der problematischen Vegetationspolygone zu Gebäuden repräsentieren:

- Laubbaumbestände bzw. Gehölzflächen durchmischt mit verstreuter Bebauung,
- baumreiche Altstadtbereiche bzw. Zonen geschlossener Bebauung,
- typische Vorortssituation mit Einzelbebauung und heterogener Gartenvegetation.

Der Datensatz der drei Trainingsgebiete enthielt sowohl die tatsächlichen Gebäudeveränderungen als auch die Änderungen der versiegelten Bodenflächen.

In einer räumlichen Abfrage wurden diejenigen Change-Detection-Polygone selektiert, die mit den tatsächlich geänderten Polygonen der Trainingsgebiete korrespondieren. Daraus ließen sich im Anschluss die Schwellwerte für Größenklassen und Kompaktheitsmaße empirisch ableiten, die für den Trainingsdatensatz zu keiner Eliminierung von korrekten Änderungspolygonen führen, gleichzeitig aber die Polygone mit Fehldetektionen stark reduzieren. Durch Versuchsreihen stellte sich dabei heraus, dass ein mehrstufiges Verfahren, das für verschiedene Größenklassen unterschiedlich definierte Schwellwerte für K1 vorsieht, die besten Ergebnisse produziert. Ähnliche Überlegungen ergaben sich für die Bodenneuversiegelungen und die Gebäudeabgänge (Abriss) als zielführend, jedoch mit jeweils angepassten Parametern. Letztlich wurden geringe Sicherheitsaufschläge für die jeweiligen Schwellwerte (siehe Tab. 3) angesetzt, um die Restunsicherheit zu minimieren, die durch die begrenzte Größe und somit Aussagefähigkeit der Trainingsgebiete bedingt ist. Abb. 5 zeigt

Beispiele für die Eliminierung vermeintlicher Gebäudeerweiterungen durch Umklappeffekte (violette Signatur). Abb. 6 illustriert die erfolgreiche Unterscheidung von tatsächlichen Gebäudezugängen (schraffierte Signatur) von baumkronenbedingten Fehldetektionen (Signatur ungefüllt).

Für das Projekt wurde die Reduzierung der Fehldetektionen (siehe Tab. 4) um ca. den Faktor 50 bei Neugebäuden und ca. den Faktor 27 bei den Bodenneuversiegelungen erreicht. Den 1335 ursprünglichen Fehldetektionen in der Klasse ‚Neugebäude‘ stehen nach der Filterung 27 verbliebene Fehldetektionen gegenüber, was eine erhebliche Aufwandsreduzierung bei der manuellen Prüfung und Einarbeitung bedeutet. Bei Gebäudeabgängen ist die Verminderung der Menge an Fehldetektionen zwar prinzipbedingt deutlich geringer, aber auch hier konnten die Fehldetektionen noch um den Faktor 3,5 verringert werden. Versuchsweise schärfere Schwellwerte brachten zwar weitergehende Reduzierungen, sorgten aber für erste Anzeichen dafür, dass ungewollt erste korrekte Änderungspolygone aus der Prüfmenge eliminiert werden.

8 Fazit und Ausblick

In diesem Artikel wurde ein Verfahren zur Änderungsdetektion versiegelter Flächen vorgestellt, das auf einer objektbasierten Klassifizierung beruht. Fehlklassifizierungen können durch einen empirisch basierten, nachgeordneten Filterprozess in erheblichem Umfang reduziert werden. Das Gesamtverfahren kann so gestaltet werden, dass einerseits nahezu sämtliche realen Änderungen im Rahmen der Projektvorgaben detektiert werden und gleichzeitig fehlerhafte Änderungen, die tat-

sächlich keinen Änderungsfall darstellen, nur einen geringen Umfang einnehmen. Es konnte gezeigt werden, dass das Change-Detection-Verfahren die visuelle Durchmusterung von Luftbildern, die bisher in den Fortführungsprojekten angewendet wurde, ersetzen kann und eine hohe Erkennungsquote erreicht wird. In einem methodisch vergleichbaren Vorgängerprojekt, für das zusätzlich manuelle Durchmusterungsergebnisse vorlagen, konnte belegt werden, dass das automatische Verfahren sowohl fall- als auch flächenbezogen vollständigere Ergebnisse liefert. Die summierten Änderungsflächen, die übereinstimmend durch die operateurgestützte Durchmusterung und durch das parallel durchgeführte automatische Verfahren detektiert wurden, weisen eine Flächengröße von 6,4 ha auf. Durch das automatische Verfahren wurden 0,58 ha Fläche fehlerhaft zusätzlich gefunden (9%). Hingegen betrug die zusätzlichen, nur durch das operateurgestützte Verfahren detektierten Flächen 0,26 ha (4%). Neben der Zeitersparnis, die sich je nach Projektgröße zwischen 20% und 40% des Gesamtaufwandes bewegt, ist somit eine Verbesserung mindestens der flächenbezogenen Vollständigkeit zu erwarten.

Das hier vorgestellte Verfahren kann insbesondere durch eine Verbesserung der digitalen Gelände- und Oberflächenmodelle und damit ein präziseres Differenzhöhenmodell weiter optimiert werden. Um auch kleinere als im Projekt geforderte Änderungsflächen zuverlässig detektieren zu können, wäre eine automatische blockweise Entzerrung des Ausgangsdatensatzes wünschenswert.

Danksagung

Der Artikel wurde im Rahmen eines Projektes des Lippeverbandes und der EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH erstellt. Die Autoren bedanken sich für die kooperative Zusammenarbeit und für die Bereitstellung des Luftbildmaterials sowie der weiteren Projektdaten.

Literatur

- BAATZ, M. & SCHAPE, A., 1999: Object-oriented and multi-scale image analysis in semantic networks. – 2nd international symposium on operationalization of remote sensing, 16–20 August 1999, ITC, Enschede, The Netherlands.
- BOUZIANI, M., GOÏTA, K. & HE, D.-C., 2010: Automatic change detection of buildings in urban environment from very high spatial resolution images using existing geodatabase and prior knowledge. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **65** (1): 143–153.
- BÜSCHER, O., BUCK, O., LOHMANN, P., HOFMANN, P., MÜLLER, S., SCHENKEL, R.U. & WEISE, C., 2008: Einsatz von Change Detection Methoden zur Fortführung von DeCOVER-Objektarten. – *PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **2008** (5): 395–407.
- CHAMPION, N., ROTTENSTEINER, F., MATIKAINEN, L., LIANG, X., HYYPPÄ, J. & OLSEN, B.P., 2009: A test of automatic building change detection approaches. – *CMRT09*: 3–4.
- COPPIN, P., JONCKHEERE, I., NACKAERTS, K., MUYS, B. & LAMBIN, E., 2004: Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. – *International Journal of Remote Sensing* **25**: 1565–1596.
- DURO, D.C., FRANKLIN, S.E. & DUBÉ, M.G., 2013: Hybrid Object-based Change Detection and Hierarchical Image Segmentation for Thematic Map Updating. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **79** (3): 259–268.
- GITELSON, A.A., ZUR, Y., CHIVKUNOVA, O.B. & MERZLYAK, M.N., 2002: Assessing Carotenoid Content in Plant Leaves with Reflectance Spectroscopy. – *Photochemistry and Photobiology* **75**: 272–281.
- KLINK, A., LÜCKE, C., VÖLKER, A., HÖKE, S. & ROLF, M., 2008: Semiautomatische Luftbildauswertung zur Erfassung von Siedlungs- und Verkehrsflächen als Unterstützung des nachhaltigen Flächenmanagements. – *PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **2008** (5): 441–451.
- LANG, S. & BLASCHKE, T., 2007: Landschaftsanalyse mit GIS. – Ulmer, UTB 8347, Stuttgart.
- LANGANKE, T. & LANG, S., 2004: Strukturelle Indikatoren zur Beurteilung von Habitatqualität im europäischen Naturschutz. – *Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen*. Leipzig: UFZ-Berichte: 141–145.
- LEMAIRE, C., 2008: Aspects of the DSM Production with High Resolution Images *ISPRS XXXVII* (B4): 1143–1146.

- LI, X., ZHAO, S., RUI, Y. & TANG, W., 2007: An object-based classification approach for high-spatial resolution imagery. – Conference Volume 6752, Geoinformatics 2007. Remotely Sensed Data and Information, Nanjing, China.
- MAS, J.-F., 1999: Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. – *International Journal of Remote Sensing* **20** (1): 139–152.
- MOTOKA, T., NASAHARA, K.N., OGUMA, H. & TSUCHIDA, S., 2010: Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. – *Remote Sensing* **2010** (2): 2369–2387, doi: 10.3390/rs2102369.
- RICHARDSON, A.D., JENKINS, J.P., BRASWELL, B.H., HOLLINGER, D.Y., OLLINGER, S.V. & SMITH, M.-L., 2007: Use of digital webcam images to track spring green-up in a deciduous broadleaf forest. – *Oecologia* **152**: 323–334.
- SINGH, A., 1989: Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data. – *International Journal of Remote Sensing* **10** (6): 989–1003.
- VAUPEL, W. & RÖSSMANN, H., 2008: Siedlungswasserwirtschaftliche Management- und Planungsunterlagen erhalten mehr Sicherheit durch photogrammetrische Methoden. – PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2008** (5): 433–440.
- ZHOU, W., HUANG, G., TROY, A. & CADENASSO, M.L., 2009: Object-based land cover classification of shaded areas in high spatial resolution imagery of urban areas: A comparison study. – *Remote Sensing of Environment* **113** (2009): 1769–1777.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing. HEINER RÖSSMANN, Dipl.-Geogr. JOACHIM PEYKER, Dipl.-Landschaftsökologe ANDREAS VÖLKER & Dipl.-Ing. (FH) ADRIAN KLINK, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststr. 2-18, D-48145 Münster, Tel. +49-251-133070, Fax: +49-251-1330733, e-mail: {heiner.roessmann}{joachim.peyker}{andreas.voelker}{adrian.klink}@eftas.com

Manuskript eingereicht: Mai 2013
Angenommen: Juli 2013