

Einsatz von Change Detection Methoden zur Fortführung von DeCOVER Objektarten

OLAF BÜSCHER, OLIVER BUCK, Münster; PETER LOHMANN, PETER HOFMANN, SÖNKE MÜLLER, Hannover, ROBERT SCHENKEL, Dresden & CHRISTIAN WEISE, München

Keywords: Fernerkundung, Landcover, Change Detection, Change Indication, Segmentation

Summary: *Change Detection for Updating DeCOVER Object Classes.* Advancing technical means – just consider the current satellite systems RapidEye or TerraSAR-X – as well as new European legislation such as the Water Framework Directive or INSPIRE bringing new reporting obligations, lead to continuously increasing geoinformation demand by administrative authorities. Existing geospatial information systems such as the German Authoritative Topographic and Cartographic Information System (ATKIS®) or the European CORINE Land Cover (CLC) can not fully meet this demand, bringing the focus to current studies and developments to update and refine these geodata. The project aim is to develop a concept to establish and update land cover and land use information via geospatial web services based on up-to-date remote sensing information.

This article presents the fundamental aspects and latest results of the DeCOVER project, such as the sequential processing chain. It focuses on the developed change detection methodology, which is an integral part of DeCOVER. Different change indicators are implemented based on a comparison of the input satellite data of different dates. These indicators in combination with a transition-probability-matrix are used to limit the new possible classes and control the subsequent recursive processing to verify the indicated changes according to the probabilities of change. The results of the proposed object-based change detection process chain are compared to change-detection results obtained by completely visual interpretation. Finally all results are assembled to a resultant change indication map.

Zusammenfassung: Fortschreitende technische Möglichkeiten – man denke an die aktuellen Satellitensysteme RapidEye oder TerraSAR-X – und neue rechtliche Vorgaben wie europäische Berichtspflichten oder die Rahmengesetzgebung INSPIRE führen zu kontinuierlich steigenden Anforderungen an Geoinformation durch betroffene Fachbehörden. Diesem neuen Bedarf werden die bestehenden Datensätze wie das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS®) oder CORINE Land Cover (CLC) nicht gänzlich gerecht, so dass Aktualisierung und Verfeinerung zur Unterstützung der bestehenden Geodaten aktuell im Fokus stehen. Vor diesem Hintergrund startete Anfang 2006 ein Konsortium bestehend aus elf Mitgliedern die Arbeit zum Projekt DeCOVER. Das Projektziel ist die Entwicklung eines Konzeptes zur Erstellung und Fortführung von Landbedeckungs- bzw. Landnutzungsdaten über Geoinformationsdienste auf Grundlage von Fernerkundungsdaten.

Im vorliegenden Artikel werden grundlegende Projektinformationen und Ergebnisse der Verbundarbeit wie das auf einer sequentiellen Prozesskette basierende Kartiervorgehen vorgestellt. Der Fokus liegt in der Darstellung der Change Detection-Methodik, die als integraler Bestandteil des DeCOVER Fortführungskonzeptes entwickelt wurde. Im Fortführungskonzept werden Veränderungsindikationen basierend auf Fernerkundungsdaten verschiedener Aufnahmezeitpunkte erstellt. Die Indikatoren führen gemeinsam mit einer Übergangs-Wahrscheinlichkeitsmatrix zu einer Detektion und thematischen Einschätzung möglicher Veränderungen. Die Ergebnisse der vorgeschlagenen objekt-basierten Change Detection Verarbeitungskette werden verglichen mit Resultaten aus einer rein visuellen Interpretation von Veränderungen. Nach der Veränderungserfassung stehen die Ergebnisse in einem Veränderungslayer mit entsprechenden Veränderungsindikationen zur Verfügung.

1 Projekthintergrund

Der Interministerielle Ausschuss für Geoinformationswesen (IMAGI) urteilt: „Betroffen vom Thema Geoinformation sind, wenn auch in unterschiedlicher Intensität, sämtliche Ressorts der Bundesverwaltung.“ (vgl. IMAGI 2008). Diese Aussage ist in ähnlicher Form auch auf die Länder- und Regionalebene zu übertragen. Insbesondere neue rechtliche Vorgaben führen bei den gesetzlich beauftragten Fachbehörden zu einem wachsenden Bedarf an räumlich differenzierter Information zur Erdbeobachtung und Berichterstattung. So ist inzwischen durch die INSPIRE-Initiative (Infrastructure for Spatial Information in Europe) von europäischer Seite der gesetzliche Rahmen für die Vernetzung und Harmonisierung vorhandener Geodaten festgeschrieben, den es in den kommenden Jahren auf nationaler Ebene auszufüllen gilt. Darüber hinaus definieren bestehende und zukünftige europäische Direktiven mit spezifischen Berichtspflichten konkrete Anforderungen an Geoinformation in den Bereichen Agrar, Umwelt, Wasser, Bodenschutz, Naturschutz sowie Raumplanung (CHEN et al. 2004). Ak-

tuelle und dem Informationsbedarf angepasste Landbedeckungsdaten sind für viele öffentliche Aufgaben daher essentiell. Diesem Informationsbedarf begegnet das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über das von dem Projektträger Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) teilfinanzierte Projekt DeCOVER. Mit DeCOVER (vgl. DeCOVER 2008) wird ein Dienstekonzept entwickelt, das dem Portfolio der nationalen Geodatenbasis mit Hilfe von Fernerkundungsdaten eine weitere neue Stärke hinzufügen kann. Diese neue Stärke liegt nicht nur in der Ergänzung der Geodatenlandschaft allein, sondern auch in einer Art Schnittstellenfunktion. Die DeCOVER-Objektarten sind so spezifiziert, dass eine maximale semantische Interoperabilität zu den bestehenden Katalogen wie CLC und ATKIS erreicht wird. Darauf aufbauend können die Fortführungen der angesprochenen Kataloge unterstützt und somit Synergieeffekte erzielt werden. Das DeCOVER-Konsortium besteht aus insgesamt elf Partnern, die ihre Expertise auf verschiedenen Gebieten im Bereich Fernerkundung und Geoinformation beisteuern, wie in Tab. 1 dargestellt ist.

Tab. 1: Die DeCOVER-Konsortialpartner und ihre Expertisen.

Partner	Aufgabe
Definiens AG	SW Unterstützung, objekt-basierte Bildanalyse & Klassifikation von Wasserflächen
DELPHI IMM GmbH	Interoperabilität, Verbindung zu INSPIRE
DLR (assoziiertes Partner)	Unterstützung urbane Flächen und SAR-Prozessierung
EFTAS GmbH	Koordination, Landwirtschaft
GAF AG	Validierung, Forstwesen
H.G. GDS GmbH	Change Detection, SAR-Anwendungen, Urbane Gebiete
Infoterra GmbH	Dienste-Spezifikation, Wirtschaftlichkeitsanalyse, Verbindung zu GMES
IPI, LUH	Innovation, Qualitätskontrolle
Jena-Optronik GmbH	Ko-Registrierung von SAR und optischen Bildern
RapidEye AG	Umsetzung Spezifikation und Design der Prozesskette, Integration der Teilergebnisse
RSS RemoteSensing Solutions GmbH	Natur- und Landschaftsschutz (Offenland naturnah)

Im Rahmen der europäischen Initiative GMES (Global Monitoring of Environment and Security) wurden bereits Dienste zur Bereitstellung raumrelevanter Daten zur Erdbeobachtung und Berichterstattung auf europäischer Anforderungsebene definiert, demonstriert und implementiert (DWORAK et al. 2005). DeCOVER nimmt als nationales Projekt die GMES Entwicklungen und Standards auf und führt sie auf nationaler Ebene weiter.

2 DeCOVER Dienstekonzept

Das vom Konsortium entwickelte DeCOVER-Konzept beinhaltet einen sog. Ausgangs- und Ergänzungsdienst. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf den Ausgangsdienst, der wiederum in die Komponenten *Kartierung* und *Änderungsflächen* unterscheidet. Während die Komponente *Kartierung* die Erstellung originärer Daten gewährleistet, wird mit der Komponente *Änderungsflächen* eine Methode zur effizienten Aktualisierung von DeCOVER Daten

ermöglicht (vgl. DeCOVER 2008). Neben der Methodik zur Änderungserkennung (Change Detection) bilden Arbeiten zur Erkennung und Definition der semantischen Interoperabilität zwischen DeCOVER und bestehenden Datensätzen (z. B. ATKIS, CLC und BNTK) die Kernaspekte der Entwicklungen in DeCOVER. Beide Ausgangsdienstkomponenten bieten damit auch das Potenzial zur Unterstützung (im Sinne von Ergänzung und Fortführung) bestehender Geodatenätze. Eine Prämisse für die Entwicklungen zum Ausgangsdienst sieht die Nutzung von Fernerkundungsdaten mit einer Auflösung von fünf Metern als Basisdaten vor. Entsprechend wird der Arbeitsmaßstab im Bereich von 1:25.000 festgelegt. Damit ordnet sich DeCOVER bezüglich der thematischen und räumlichen Datenspezifikationen zwischen GMES und ATKIS ein. In der DeCOVER Ausgangsdienst-Komponente *Kartierung* wurde für die Kartierung der Ausgangsdienstobjektarten eine Prozesskette mit sequentieller Bildsegmentierung und Klassifizierung entwickelt (vgl.

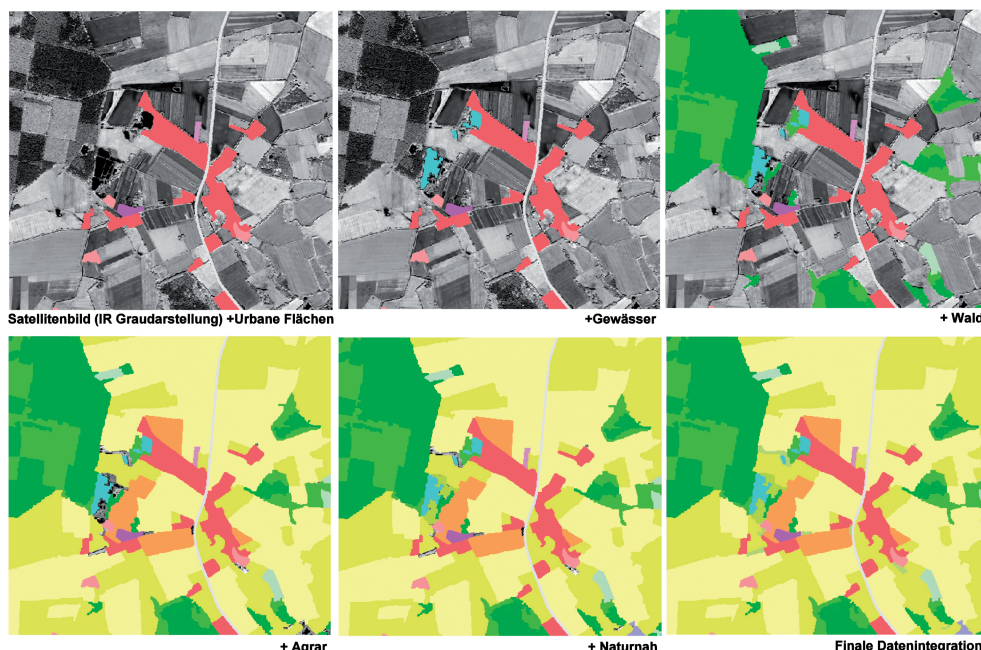


Abb. 1: Sequentieller Durchlauf der Prozesskette für den DeCOVER Ausgangsdienst. Links ursprüngliche Bilddaten. Rechts (von links oben nach rechts unten) sequenzieller Durchlauf der Prozesskette.

BÜSCHER et al. 2007). Dabei werden auf dem Weg vom Satellitenbild zum Datensatz fünf Objektkategorien (thematische Zwischenprodukte, TZP) nacheinander – also sequentiell – durch verschiedene Partner kartiert (vgl. Abb. 1). Entsprechend werden zunächst *Urbanflächen* erfasst, bis am Ende der Prozesskette nach dem Durchlaufen von *Gewässer*, *Wald*, *Agrar* und *Naturnah* die Daten durch einen abschließenden Integrations-schritt konsistent aufbereitet werden.

Über die Komponente *Änderungsflächen* soll eine effiziente und kostengünstige Aktualisierung, d. h. Fortführung der DeCOVER Kartierung ermöglicht werden. Die Basis hierzu bilden Methodenentwicklungen zur indikator-basierten Erkennung von Landbedeckungsveränderungen auf Grundlage automatisierter Satellitenbildverarbeitung und -analyse, die in DeCOVER unter dem Begriff *Change Detection (CD)* geführt werden. Der Ansatz beinhaltet sowohl manuelle, als auch automatische Bildanalyse-schritte, die in der Erzeugung eines sogenannten Change Layers münden. Dieser Layer beinhaltet jene Flächen bzw. Objekte, die offensichtlich eine Veränderung erfahren haben und führt zudem eine Aussage zur Art der wahrscheinlichen geometrischen und attributiven Veränderung mit.

3 Change Detection Konzept

Eine Möglichkeit zur Veränderungserkennung ist durch die vergleichende Analyse zweier unabhängig voneinander und zu verschiedenen Zeitpunkten erzeugten Interpretationen gegeben. Allerdings setzt dieser Ansatz mindestens zwei Gesamtkartierungen des zu analysierenden Gebiets voraus. Im Gegensatz hierzu basiert der im DeCOVER Konzept primär verfolgte Ansatz auf der Analyse multitemporaler Fernerkundungsdaten (SINGH 1989). In diesem Fall werden Veränderungen, die mögliche geometrische und attributive Änderungen aufzeigen, durch die Bilddaten direkt oder indirekt indiziert. Die indizierten Veränderungen beziehen sich auf Objekte in einer bereits bestehenden Datenbank. Dabei erfolgt der Vergleich der Bilddaten zunächst auf Pixel-

Ebene, so dass dadurch eine pixelbasierte Indikation von Landnutzungs- und Landbedeckungsveränderungen gegeben ist. Die Vielzahl der Methoden für den Vergleich von Bildern unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte kann grob in drei Gruppen eingeteilt werden: in Methoden, die univariat den Bildvergleich nutzen (SINGH 1989, FUNG 1990), in Methoden, die abgeleitete Vegetationsmerkmale wie z. B. den NDVI oder die Tasseled Cap-Transformation vergleichen und in Änderungsvektorenanalysen (LAMBIN 1994, BRUZZONE et al., 2002). Einen umfangreichen Überblick über pixelbasierte Methoden, ihre Vor- und Nachteile und ihrer Qualität bieten LU et al. (2004). Bezieht man diese pixelbasierten Indikationen auf Objekte, ist ein Ansatz zur Integration und Validierung dieser Indikationen nötig. Es gibt verschiedene Möglichkeiten diesen Ablauf zu implementieren. Einige werden u. a. bei GERKE et al. (2004), BUSCH et al. (2005) und SCHÖPFER (2005) vorgestellt. Das Konzept zur Erstellung des Change-Layers in DeCOVER sieht verschiedene Prozessierungsschritte vor: In einem ersten *Fokussierungsschritt* werden zunächst die genutzten Bilddaten in der Form aufbereitet, dass erste Aussagen zu potenziell veränderten Flächen getroffen werden können. Dies beinhaltet neben notwendigen Vorprozessierungsschritten die generelle Detektion von Veränderungsflächen, sowie eine Einschätzung, welche Veränderung stattgefunden haben könnte. Hierzu kann eine Übergangswahrscheinlichkeitsmatrix (T_p -Matrix) mit herangezogen werden, um eine Aussage über die a priori wahrscheinlichste Veränderung treffen zu können. Entsprechend enthält die T_p -Matrix für jede Objektart die auf Expertenwissen basierende a priori Wahrscheinlichkeit zur Änderung in eine der übrigen Objektarten. Diese objektweise Einschätzung der Veränderung kann bereits als potenzielles Change-Produkt verwendet werden.

Auf Basis der aus den Bilddaten abgeleiteten, pixelweisen Indikationen erfolgt anschließend eine Sub-Segmentierung des ursprünglichen (DeCOVER-)Datensatzes, so dass dadurch Flächen homogener (Nicht-)

Veränderung innerhalb der Grenzen der ursprünglichen Kartierung entstehen und als Veränderungs- oder Nicht-Veränderungsflächen ausgewiesen werden (binäre Change-Maske). Die in der Fokussierung getroffenen Annahmen zur Art der Veränderung werden anschließend im Idealfall mit für die jeweilige Objektart geeigneten Verfahren zur Bildsegmentierung und Klassifikation abgeglichen. Liegen für die Veränderungserfassung geeignete Verfahren vor, so wird die Veränderung entsprechend automatisch bearbeitet, so dass die angenommene Veränderung verifiziert bzw. falsifiziert wird. Dabei gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, wie ein Objekt von einer relevanten Veränderung betroffen sein kann: rein attributive Veränderungen, rein geometrische Veränderungen, oder geometrische und attributive Veränderungen. Kann trotz einer indizierten Veränderung keine der angenommenen Veränderungen verifiziert werden, oder liegt kein automatisches Verfahren zur Erfassung vor, so erfolgt eine manuelle bzw. visuelle Überprüfung und ggfs. eine manuelle Erfassung der Veränderung. Die Ergebnisse aus manueller und automatischer Veränderungserfassung werden schließlich zu einem Change-Layer zusammengeführt, der sowohl geometrische, als auch attributive Information zur detektierten Veränderung enthält. Konnte lediglich eine Veränderung festgestellt werden, diese aber thematisch nicht zugeordnet werden, dann wird diese Veränderung zwar ausgewiesen aber als „nicht zuordenbar“ markiert. Darüber hinaus beinhaltet der Change-Layer für jede erfasste Veränderung quantitative und qualitative Aussagen über die Abschätzung der Veränderung, so dass der Change-Layer entsprechend für eine fokussierte Aktualisierung bestehender Geodaten genutzt werden kann.

3.1 Fokussierungsmodul

Im Fokussierungsmodul erfolgt die Verortung von Veränderungen und die Entscheidung über die weitere Bearbeitung durch automatische oder manuelle Methoden. Um falsche, durch jahreszeitliche, atmosphäri-

sche oder aufnahmebasierte Effekte hervorgerufene Veränderungsindikationen zu vermeiden, durchlaufen die genutzten Bilddaten zunächst verschiedene Vorverarbeitungsschritte, wie Koregistrierung, Atmosphärenkorrektur, Bildnormalisierung und Ausmaskierung von Wolken- und Schattenbereichen. Trotz dieser integrierten Vorverarbeitung können jedoch einige Fehlindikationen, die in hochauflösenden Daten (IKONOS, QuickBird, SPOT5) z. B. durch die unterschiedliche Länge und Richtung von Gebäudeschatten hervorgerufen werden, nicht gänzlich ausgeschlossen werden (Veränderungsrauschen). Zur Lokalisierung möglicher Veränderungen werden für die aufbereiteten Bilddaten eines Sensors zunächst pixelbasierte Veränderungs-Indikatoren generiert und es wird geprüft, ob unter Berücksichtigung der zeitlich älteren Objektebene (t_0) eine Veränderung beobachtet werden kann. Aus der Vielzahl möglicher Indikatoren (Lu et al. 2004) wurde bislang eine Auswahl untersucht, die auf der Hauptachsentransformation, den Textur-Operatoren nach Haralick und der Differenzbildung basiert. Im Hinblick auf die Eignung zur Segmentierung von Veränderungsflächen zeigten die Untersuchungen, dass die rein auf dem Signalunterschied basierenden Indikatoren (zeitliche spektrale Differenzen auf Basis der Bilddaten zum Zeitpunkt t_0 und t_1 , Hauptkomponenten auf Basis der Bilddaten zum Zeitpunkt t_0 und t_1) sehr hoch miteinander korreliert sind, so dass so gut wie keine Unterschiede im tatsächlichen Informationsgehalt für die Segmentierung von Veränderungsflächen erkennbar sind. Ebenso gering war der Informationsgehalt entsprechender Indikatoren abgeleitet aus Textur-Parametern nach Haralick (vgl. LOHMANN et al. 2008 und HOFMANN et al. 2008).

Aufgrund der dargestellten Erkenntnisse werden zur Erfassung der Veränderungsflächen innerhalb der Objektgrenzen zum Zeitpunkt t_0 die normierten spektralen Differenzen der Bilddaten zum Zeitpunkt t_0 und t_1 als pixel-basierte Indikator-Bilder herangezogen, so dass jedes Pixel eines Kanals die normierte spektrale Differenz des Kanals

enthält, wobei die Differenz nicht absolut, sondern entsprechend der radiometrischen Auflösung des Sensors dargestellt wird, also im Falle von 8bit von -255 bis $+255$. Die Erfassung der Veränderungsflächen erfolgt zunächst mittels Multiresolution-Segmentation-Verfahren nach Baatz & Schäpe (vgl. BAATZ & SCHÄPE 2000), wobei die normierten Differenzen je Kanal als die zu segmentierenden Bilddaten verwendet werden. Da das Multiresolution-Segmentation-Verfahren auf Kontrast (hier also dem räumlichen Unterschied der normierten spektralen Differenz zwischen den Bilddaten zum Zeitpunkt t_0 und t_1) und Homogenität im Sinne von Farbe (hier also der normierten spektraler Differenz) und Form basiert, werden dadurch Flächen homogener spektraler Veränderung und homogener Form innerhalb der Objektgrenzen der Kartierung zum Zeitpunkt t_0 erzeugt. Das Homogenitätskrite-

rium wird beim Multiresolution-Segmentation-Verfahren indirekt durch den sogenannten Scale Parameter gegeben, der entsprechend als Schwellwert fungiert und vom Anwender zu setzen ist. Zur Bildung des Schwellwerts kann der Anteil der Farb- und Formhomogenität gewichtet werden. Durch die Multiresolution-Segmentation kommt es im Sinne einer Erfassung von indizierten Veränderungsflächen zunächst zu einer Übersegmentierung, so dass in einem weiteren Schritt entsprechend der Differenz der Indikator-Mittelwerte der Segmente benachbarte Segmente wieder zusammengefasst werden (Spectral Difference Verfahren, vgl. DEFINIENS 2008a, siehe Abb. 2). Wie in Abb. 2 durch die Farbmischung der normierten Differenzen zu erkennen ist, werden spektrale Zunahmen in den Kanälen hell dargestellt, so dass die Helligkeit den Grad der spektralen Zunahme widerspiegelt.

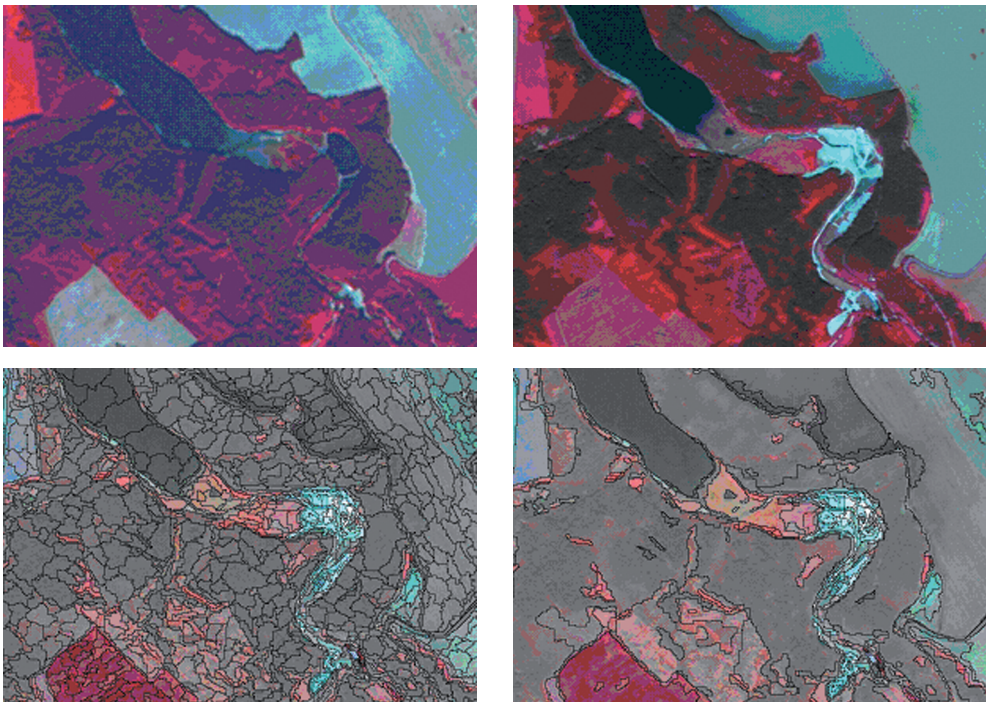


Abb. 2: Segmentierung auf Basis der Indikator-Bilder. L.o.: Bilddaten zum Zeitpunkt t_0 . R.o.: Bilddaten zum Zeitpunkt t_1 . L.u.: generierte Segmente mittels der Multiresolution-Segmentation auf Basis der normierten spektralen Differenz zwischen t_0 und t_1 . R.u.: generierte Segmente nach anschließender schwellwert-basierter Zusammenfassung (Spectral Difference). Hintergrund (unten): Differenz des normierten SPOT 5 Grün-, Rot- und NIR-Kanals in BGR.

Entsprechend dunkel werden Gebiete mit einer Abnahme in den Kanälen dargestellt. Die Farbe ist dann gegeben durch den Anteil der Zu- oder Abnahme eines Kanals. Für die Bildung der Segmentgrenzen bedeutet dies, dass sie dort entstehen, wo eine deutliche Änderung der Zu- oder Abnahme in den Kanälen auftritt und gleichzeitig die Zu- oder Abnahme innerhalb des Segments homogen ist. Kritisch bei dieser Vorgehensweise ist die Parametrisierung des Segmentierungsalgorithmus zu sehen, da diese nicht nur von den verwendeten Bilddaten, sondern auch von der Aufgabenstellung abhängt.

Bei der bisherigen Realisierung des Konzepts wurde für die Erstellung potenzieller Veränderungsflächen auf die Multiresolution Segmentation und anschließende Fu-

sionierung mittels Spectral Difference, wie oben beschrieben, zurückgegriffen. Im Sinne einer räumlichen Objekt-Hierarchie (vgl. DEFINIENS 2008b) entstehen somit auf oberster Ebene die originären Segmente der ursprünglichen DeCOVER-Kartierung zum Zeitpunkt t_0 , in der mittleren Ebene spektral homogene Segmente im Sinne der normierten Differenz, und in der untersten Ebene homogene Segmente im Sinne der normierten Differenz und der Form. Diese können bei der anschließenden Klassifikation der Veränderungen für eine weitere Strukturanalyse herangezogen werden, wie in Abschnitt 3.2. gezeigt wird. Für die so generierten Veränderungs-Segmente steht nun das gesamte Portfolio der objekt-basierten Bildanalyse zur Verfügung (vgl. BENZ, U. et al. 2004).

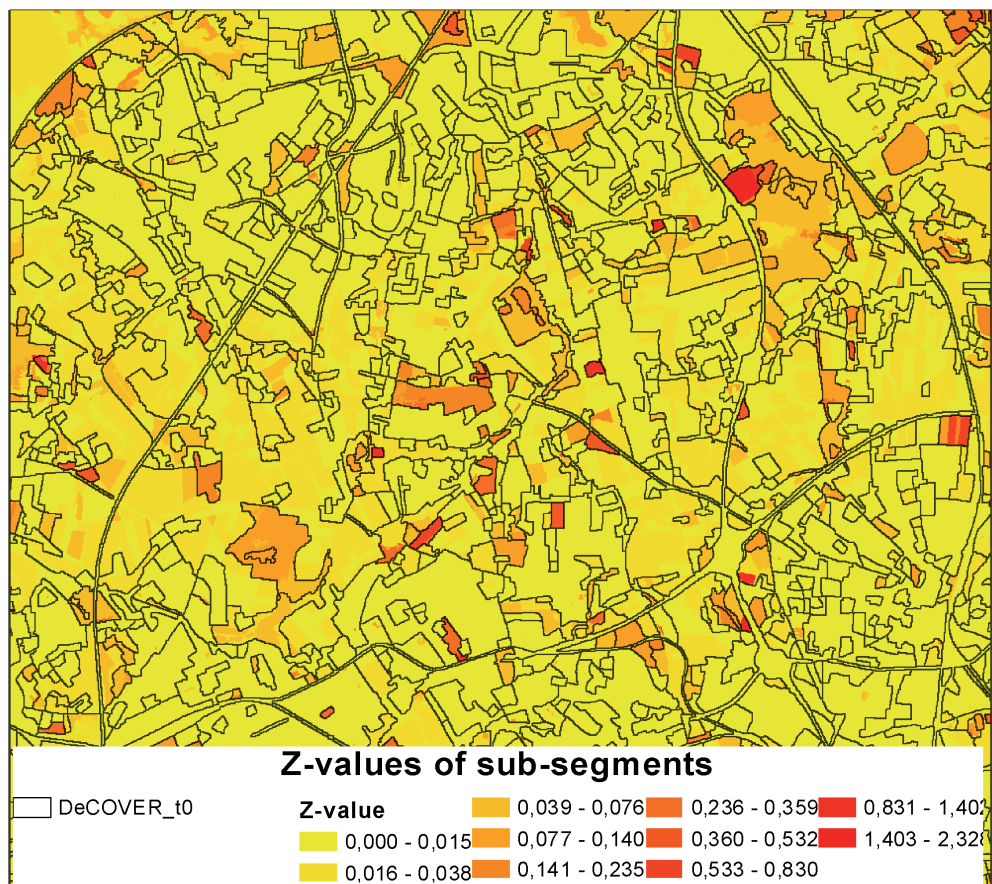


Abb. 3: Segmentbasierte Z-Werte innerhalb der DeCOVER-Ursprungskartierung (Testgebiet Herne).

Zur binären Ausweisung der generierten Veränderungs-Segmente als *verändert* oder *nicht-verändert* werden zum einen die Zu- oder Abnahme der spektralen Mittelwerte pro Segment und zum anderen die Z-Werte je Segment herangezogen. Dabei handelt es sich um ein modifiziertes Verfahren, wie in (KOELN & BISSONNETTE 2000) beschrieben wird. Für den Z-Wert werden einzelne Objektmerkmale über verschiedene (temporale) Aggregationsebenen miteinander verglichen, wobei im vorliegenden Fall die gebildeten Sub-Segmente (Sub-Objekte) mit der ursprünglichen DeCOVER-t0-Kartierung (Super-Objekte) verglichen werden. Hierzu werden die Kanalmittelwerte und die Mittel-

werte des NDVI als Vergleichsmerkmale i herangezogen (vgl. Gleichung (1) und Abb.3).

$$Z_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{v_{i1} - \mu_{i0}}{(\sigma_{i0})^2} \right)^2} \quad (1)$$

mit:

v_{i1} = Mittelwert des Merkmals i des Sub-Objekts zum Zeitpunkt t1.

μ_{i0} = Mittelwert des Merkmals i des Super-Objekts zum Zeitpunkt t0.

σ_{i0} = Standardabweichung des Merkmals i des Super-Objekts zum Zeitpunkt t0.

n = Anzahl der Merkmale.



Abb. 4: Binäre Change-Maske (rot umrandet = verändert) überlagert mit dem Differenz-Bild und der ursprünglichen DeCOVER-t0-Kartierung (graue Linien).

Die automatisierte binäre Ausweisung der Veränderungsflächen erfolgt schließlich schwellwert-basiert anhand der Zu- oder Abnahme der Kanal-Mittelwerte, der relativen Zu- oder Abnahme der Kanal-Mittelwerte eines Segments, sowie des modifizierten Z-Werts. Entsprechend werden in einem ersten Schritt verschiedene Veränderungsarten anhand der spektralen Veränderungen und der Z-Werte als Veränderungsklassen ausgewiesen und die betreffenden Segmente entsprechend den Klassen zugewiesen. Aus der so entstehenden Vielzahl von Veränderungsklassen entsprechen jedoch nur wenige einer tatsächlichen Veränderung. Dem gemäß werden Klassen, die keiner tatsächlich beobachtbaren Veränderung entsprechen manuell wieder gelöscht und die betroffenen Segmente als *nicht-verändert* markiert. Die übrigen Klassen werden zu einer Veränderungsklasse zusammengefasst, so dass die betroffenen Segmente als *verändert* markiert werden. (vgl. Abb. 4).

3.2 Klassifikation der Veränderungen

Neben einer rein binären Differenzierung in Veränderungs- und Nicht-Veränderungs-Segmente im Fokussierungsmodul erfolgt anschließend eine Unterteilung in verschiedene Arten möglicher Veränderungen. Im Fokussierungsmodul werden die Veränderungssegmente auf Basis der normierten spektralen Differenz gebildet. Für die Klassifikation der so gebildeten und binär als verändert ausgewiesenen Segmente können Merkmale, die auf den Farb-, Form-, Textur- und Nachbarschaftseigenschaften der Segmente basieren, herangezogen werden, wobei unter Verwendung entsprechender pixel-basierter Indikatoren segmentweise ermittelte statistische Kenngrößen, wie Mittelwert und Standardabweichung dieser Indikatoren in die Klassifikation mit einbezogen werden können. Im Idealfall entspräche eine solche Klassifikation einer Ausweisung der entsprechenden Objektart zum Zeitpunkt t1. Im konkreten Fall kann jedoch nur eine Schätzung abgegeben werden, die als Hilfsmittel zur Aktualisierung verwendet werden kann und soll. Wie in Abschnitt 2

dargestellt, soll auch die Ausweisung möglicher Veränderungen so weit möglich automatisiert erfolgen, wozu das im Folgenden beschriebene Verfahren entwickelt wurde:

Da für die als verändert ausgewiesenen Flächen ihre Klassenzuordnung zum Zeitpunkt t0 bereits bekannt ist, können im Sinne einer Veränderung hin zu einer Klasse zum Zeitpunkt t1 einzelne Klassen für den Zeitpunkt t1 ausgeschlossen werden. Für die nicht auszuschließenden Klassen zum Zeitpunkt t1 können a-priori-Wahrscheinlichkeiten, basierend auf entsprechendem Expertenwissen angegeben werden. Im vorliegenden Fall wurde dieses Expertenwissen bei den Projektpartnern erfragt, was zu einer mehr oder weniger heuristisch aufgestellten Übergangs-Wahrscheinlichkeits-Matrix (T_p -Matrix) führte, in der für jedes t0-Objekt ein Vektor T_p erstellt wird, der die Wahrscheinlichkeiten für die Veränderung in eine andere Klasse des DeCOVER-Ausgangsdienstes zum Zeitpunkt t1 enthält.

Die als verändert markierten Segmente werden anschließend auf Basis verschiedener Merkmale, wie oben beschrieben grob klassifiziert, wodurch eine entsprechende Zuordnung zu einer indizierten Veränderung auf Basis der aus den Bilddaten abgeleiteten Indikatoren möglich ist. Die indizierten Veränderungen werden durch eine Menge möglicher Klassen zum Zeitpunkt t1, die durch die Indikationen aus den Bilddaten angezeigt werden, abgebildet. Diese Klassen entsprechen derzeit grob Veränderung zu anthropogen geprägten Flächen oder zu vegetationsgeprägten Flächen. Da es sich hierbei nur um Schätzungen handeln kann, bietet sich eine entsprechende fuzzy-logische Zuordnung zu einer Veränderungsart an. Dabei erfolgt die Zuordnung auf Basis der Zu- oder Abnahme des NDVI, des Z-Werts, sowie der Homogenität der Veränderung. Für letztere werden derzeit sowohl die Differenzen der Standardabweichungen der Kanäle, als auch das Verhältnis der Anzahl von Sub-Objekten zur Fläche des Veränderungssegments herangezogen.

Mit Hilfe der beschriebenen Zuordnung zu einer Menge möglicher Klassen zum Zeitpunkt t1 auf Basis der aus den Bilddaten

abgeleiteten Indikationen und mit Hilfe des T_p -Vektors kann für jedes als verändert markierte Segment seine plausibelste Klasse zum Zeitpunkt t_1 ermittelt werden, indem diejenige Klasse des T_p -Vektors ausgewählt wird, die zum einen in der Menge der durch Indikation angezeigten möglichen Klassen enthalten ist und zum anderen a priori am Wahrscheinlichsten ist. Kann eine als verändert ausgewiesene Fläche keiner entsprechend indizierten und a priori wahrscheinlichen Klasse zugeordnet werden, wird die Fläche zwar als verändert aber mit unbestimmter Veränderung ausgewiesen. Sowohl aus den einzelnen Indikationswerten der Fuzzy-Klassifikation, als auch dem Zugehörigkeitsgrad zur indizierten Klassengruppe lässt sich zudem in Kombination mit dem T_p -Wert die Plausibilität der indizierten und a priori angenommenen Veränderung darstellen und bewerten. Zusätzlich können durch diese Vorgehensweise zum einen widersprüchliche Aussagen aus a priori Wahrscheinlichkeit und Indikation vermieden

werden und zum anderen die automatische und/oder manuelle Überprüfung der als verändert ausgewiesenen Flächen deutlich gezielter eingesetzt werden. Zudem ist durch die Verknüpfung von Fuzzy-Membership-Werten und a-priori-Wahrscheinlichkeiten eine Quantifizierung der Plausibilität bzgl. der detektierten Veränderung und ihrer Zuordnung zu einer Veränderungsart möglich was die Bewertung der detektierten Veränderung erleichtert. In diesem Kontext ist zu betonen, dass die T_p -Matrix ein dynamisches Dokument darstellt, welches auf den Erfahrungen der DeCOVER Partner aufgebaut wurde und anhand der Veränderungsstatistiken über die Jahre fortgeschrieben werden sollte.

4 Ergebnisse

Das dargelegte Konzept wurde basierend auf zwei multispektralen IKONOS Szenen vom 28.5.2005 und vom 16.4.2007 mit einer Auflösung von fünf Metern (resamp-

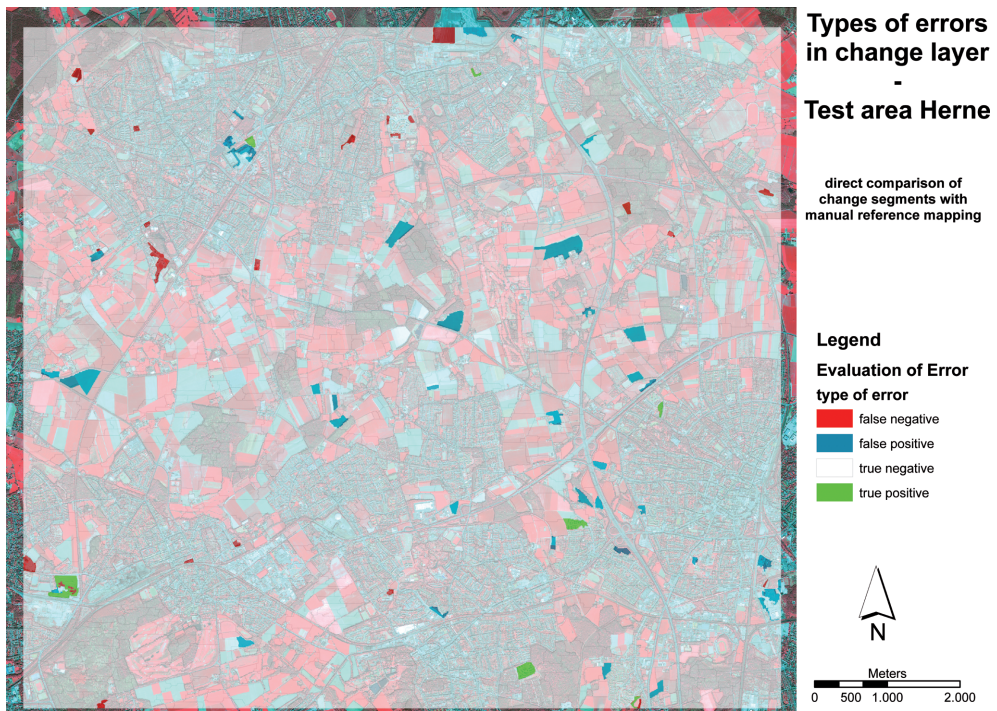


Abb. 5: Direkter Vergleich der Veränderungs-Segmente mit einer manuellen Referenzkartierung.

Tab. 2: Vergleich der automatischen Detektion von Veränderungen mit einer entsprechend manuell erstellten Referenz-Kartierung in beiden Testgebieten.

	Testgebiet Dresden	Testgebiet Herne
	% Pixel	
true positives	0,02	0,01
false negatives	0,70	0,30
false positives	6,82	0,92
true negatives	92,47	98,77
Summe	100,00	100,00
Fehlerrate	7,52	1,22

led) wie dargestellt implementiert und wird derzeit anhand eines Subsets zweier SPOT 5 Szenen vom 22.09.2005 und vom 15.07.2007 validiert. Dabei zeigte sich, dass die Segmentierung auf Basis der spektralen Differenz zu relativ gut bewertbaren Veränderungs-Segmenten führt. Defizite sind derzeit lediglich in Veränderungsbereichen zu beobachten, die nur einer geringen spektralen, dafür aber textuellen Veränderung unterliegen. Erste Vergleiche mit manuellen Veränderungskartierungen zeigten in der Genauigkeit der Veränderungserfassung zufriedenstellende Ergebnisse. Hierzu wurde jedoch lediglich die binäre Veränderungsmaske herangezogen. Wie Abb. 5 und Tab. 2 zu entnehmen ist, stimmen in beiden Fällen relativ viele Pixel mit einer manuell erstellten Referenz überein. Dabei wurden die beobachteten Abweichungen von der Referenz je Pixel in vier Typen differenziert:

- **True positive:** automatisch erkannte Veränderung ist auch in der Referenz als Veränderung erkannt.
- **True negative:** automatisch erkannte Nicht-Veränderung ist auch in der Referenz als Nicht-Veränderung erkannt.
- **False positive:** automatisch erkannte Veränderung ist in der Referenz nicht als Veränderung erkannt.

- **False negative:** in der Referenz erkannte Veränderung ist automatisch nicht als Veränderung erkannt (Auslassungsfehler).

Der Anteil der Auslassungsfehler ist relativ gering. Da Fehler der Art *false positive* mit vergleichsweise geringem Aufwand manuell korrigiert werden können, ist deren Anteil wie in Tab. 2 dargestellt, vertretbar. Zudem entstammen die meisten dieser Fehler dem landwirtschaftlichen Bereich, so dass aufgrund der dort großflächiger auftretenden Veränderungen dieser Fehler leicht überschätzt wird. Fasst man beide Fehlerarten zusammen, so erhält man in beiden Testgebieten eine Fehlerrate von deutlich unter 10 %. Unter dem Aspekt der Zeitersparnis gegenüber einer manuellen Veränderungserfassung ist der Anteil der Auslassungsfehler noch zu bewerten. Eine entsprechende Validierung wird innerhalb des Konsortiums derzeit vorgenommen.

5 Fazit und Ausblick

Während der Umsetzung des Konzepts zeigte sich, dass mit Ausnahme der Segmentierung, immer wieder manuelle Eingriffe in den Prozess notwendig waren. Insbesondere im landwirtschaftlichen Bereich kommt es aufgrund der hohen spektralen Dynamik und bei Verwendung von nur zwei Beobachtungszeitpunkten zu häufigeren Fehleinschätzungen der Veränderung. Auch zeigte sich, dass das derzeit implementierte Segmentierungsverfahren zwar bereits sehr gute Ergebnisse liefert, jedoch an dieser Stelle durchaus noch Verbesserungspotenzial besteht. Gleiches gilt für die anschließende automatische Bewertung der Segmente.

Das bisherige Feedback zu den Ergebnissen des ersten Durchlaufes der sequentiellen Prozesskette für die DeCOVER-Komponente *Kartierung* auf zwei Testgebieten ist als überwiegend positiv zu bewerten. Neben einer Produktvalidierung durch in das Projekt eingebundene Behördenvertreter wurden die Ergebnisse dem Fachpublikum im November 2007 im Rahmen des zweiten DeCOVER Nutzerworkshops vorgestellt. Der aktuelle Entwicklungsstand zum Fortfüh-

rungskonzept beinhaltet aussichtsreiche Ansätze. Zur Zeit werden weitere Untersuchungen insbesondere hinsichtlich zusätzlicher Indikatoren und der Kombination von Indikatoren durchgeführt. Die Adaption und Integration dieser Methodenentwicklungen in Bezug auf die sequentielle Produktionsprozesskette ist ebenfalls Gegenstand aktueller Arbeiten. Zwischenresultate der Change-Detection-Prozessierungskette kommen für eine weitere Nutzung durch den Endnutzer als „Direct Change“ Produkte in Betracht, indem sie auch Hinweise zur Fortführung anderer bestehender Datensätze liefern können. In einer anschließenden Projektphase soll das Konzept durch zusätzliche Geoinformationsdienste erweitert werden. Dabei werden durch in der Regel höhere thematische und räumliche Auflösungen spezifischere Anforderungen abgedeckt. Das DeCOVER Leistungsspektrum wird damit regionalen Nutzerbedarf abbilden.

6 Literatur

- BAATZ, M. & SCHÄPE, A., 2000: Multiresolution Segmentation: An Optimization Approach for High Quality Multi-scale Image Segmentation. – In: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII, Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg, 2000, Heidelberg, 12–23.
- BENZ, U., HOFMANN, P., WILLHUK, G., LINGENFELDER, I., HEYNEN, M., 2004: Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **58** (3/4): 239–258.
- BRUZZONE, L. & COSSU, R., 2002: Analysis of Multitemporal Remote-Sensing Images for CD: Bayesian Thresholding Approaches. – University of Trento, Technical Report No: DIT-02-0031.
- BÜSCHER, O. & BUCK, O., 2007: DeCover – Geoinformation Services to Update and Supplement Land Cover Data for German Decision Makers. – International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **36** (1W51), auf CD.
- BUSCH, A., GERKE, M., GRÜNREICH, D., HEIPKE, C., LIEDTKE, C.-E. & MÜLLER, S., 2005: Automatisierte Verifikation topographischer Geoinformation unter Nutzung optischer Fernerkundungsdaten. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2005** (2): 111–122.
- CHEN, Q., ZHANG, Y., EKROOS, A. & HALLIKAINEN, M., 2004: The role of remote sensing technology in the EU water framework directive (WFD). – In: Environmental Science & Policy **7** (4): 67–276.
- DeCOVER, 2008: www.de-cover.info, zuletzt besucht im Juni 2008.
- DEFINIENS, 2008a: Definiens Developer Version 7 Reference Book.
- DEFINIENS, 2008b: Definiens Developer Version 7 User Guide.
- DWORAK, T., LAASER, C., KUNTZ, S. & SEIFERT, F. M., 2005: Possible contributions of ESA Global Monitoring for Environment and Security initiative for the WFD implementation. – In: Environmental Science & Policy **8** (3): 321–326.
- FUNG, T., 1990: An assessment of TM imagery for Land-cover Change detection. – IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing **28** (12): 681–684.
- GERKE, M., BUTENUTH, M., HEIPKE, C. & WILLRICH, F., 2004: Graph supported verification of road databases. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **58** (3/4): 152–165.
- HOFMANN, P., LOHMANN, P. & MÜLLER, S., 2008: Concepts of an object-based change detection process chain for GIS update. – International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **37** (B4): in print.
- IMAGI, 2008: www.gdi-de.org/de/download/IMAGI_Organisation_Zusatz.pdf (April 2008).
- KOELN, G. & BISSONNETTE, J., 2000: Cross-Correlation Analysis: Mapping LandCover Changes with a Historic LandCover DataBase and a Recent, Single-date, Multispectral Image. – Proc. 2000 ASPRS Annual Convention, Washington, DC, glc.org/wetlands/flora-fauna.html (February 2008).
- LAMBIN, E. F. & STRAHLER, A. H., 1994: Change-vector analysis in multitemporal space: a tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal resolution satellite data. – Remote Sensing of Environment **48**: 231–244.
- LOHMANN, P., HOFMANN, P. & MÜLLER, S., 2008: Updating GIS by object-based change detection. – In: SCHIEWE, J. & MICHEL, U. (Eds.): Geoinformatics paves the Highway to Digital Earth – Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. M. Ehlers, Institut für Geoinformatik und Fernerkundung, Universität Osnabrück **8**: 81–86.

- LU, D., MAUSEL, P., BRONDISIO, E. & MORAN, E., 2004: Change detection Techniques. – International Journal of Remote Sensing **25** (12): 2365–2407.
- SCHÖPFER, E., 2005: Change Detection in Multitemporal Remote sensing Images Utilizing Object-Based Image Analysis. – Doctoral Thesis, University of Salzburg.
- SINGH, A., 1989: Digital change detection techniques using remotely-sensed data. – International Journal of Remote Sensing **10**: 989–1003.

Anschriften der Autoren:

OLAF BÜSCHER, OLIVER BUCK, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststr. 2–18, D-48145 Münster, Tel.: 0251/133070, Fax: 0251/1330733, e-mail: olaf.buescher, oliver.buck@eftas.com

Dr. PETER LOHMANN, Dr. PETER HOFMANN, Dr. SÖNKE MÜLLER, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI), Leibniz Universität Hannover, Nienburger Str. 1, 30167 Hannover, Tel: 0511/7622482, Fax: 0511/7622483, e-mail: lohmann, hofmann, mueller@ipi.uni-hannover.de

ROBERT SCHENKEL, H.G. GeoData Solutions GmbH, Talstr. 84, 07743 Jena, Tel: 03641/351811, Fax: 03641/351825, e-mail: H.G.GDS-schenkel@arcor.de

CHRISTIAN WEISE, Definiens AG, Trappentreustr. 1, 80339 München, Tel: 089/23118065, e-mail: cweise@definiens.com

Manuskript eingereicht: April 2008
Angenommen: Juni 2008