

Publikationen der Deutschen
Gesellschaft für Photogrammetrie,
Fernerkundung und Geoinformation e.V.



Band 21

2012



Vorträge

**32. Wissenschaftlich-Technische
Jahrestagung der DGPF**

14. – 17. März 2012
in Potsdam

Erdblicke – Perspektiven für die Geowissenschaften

ISSN 0942-2870

Publikationen der
Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung
und Geoinformation (DGPF) e.V.
Band 21 487 S., Potsdam 2012
Hrsg.: Eckhardt Seyfert

© Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung
und Geoinformation (DGPF) e.V.
Oldenburg 2008

Zu beziehen durch:

Geschäftsstelle der DGPF
c/o EFTAS GmbH
Oststraße 2-18
D-48145 Münster
Tel.: (0251) 133 070, Fax: (0251) 133 0733, E-Mail: klaus.komp@eftas.com

Bearbeitung:

Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg
Heinrich-Mann-Allee 103, 14473 Potsdam
Tel.: (0331) 8844 -229, Fax: (0331) 8844-126

Identifikation von Synergieeffekten durch die Verwendung von RapidEye und TerraSAR-X Daten für die Veränderungsdetektion von Landnutzungsgeometrien - Erfahrungen aus DeCOVER 2 -

MICHAEL SCHLUND¹, ERIK ZILLMANN², RENE GRIESBACH² & HORST WEICHEL²

Zusammenfassung: Im Rahmen von DeCOVER 2 wurden fernerkundungsgestützte Analysemethoden zur Veränderungserfassung zwischen Vektor- (t0) und Rasterbilddaten (t1) entwickelt, die eine effiziente Aktualisierung der Vektordaten ermöglicht. Ein fundamentaler Aspekt des gesamten Verfahrensablaufs ist die automatische Indikation potenziell veränderter Flächen.

Das technische Verfahren zur Veränderungsindikation wurde separat auf Basis von RapidEye und TerraSAR-X Daten entwickelt und angewendet. In Anbetracht des unterschiedlichen Informationsgehalts beider Aufnahmesysteme ist von verschiedenen, klassenspezifischen Vorteilen eines jeden Sensors auszugehen, deren Kenntnis zur Optimierung der klassenspezifischen Veränderungsindikation genutzt werden kann.

1 Einleitung

Die im Rahmen des DeCOVER 2 Verbundprojektes erarbeiteten Methoden zur Erfassung von Veränderungen sollen zur Steigerung der Kosteneffizienz des Aktualisierungsprozesses bestehender Geodaten beitragen, indem die Überarbeitung von Nutzerdatengeometrien und Attributen nur auf die Flächen fokussiert wird, die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit verändert haben. Der verlässlichen Ausweisung potentieller Veränderungsflächen kommt somit eine tragende Rolle im Gesamtkonzept des Aktualisierungsprozesses zu, um eine Vollinventur und komplette Neukartierung des Geodatenbestandes zu vermeiden (BUCK 2010).

Es wurden fernerkundungsgestützte Analyseverfahren entwickelt, die die bestehende Kartierung (t0) mit aktuellen Satellitenbildern (t1) vergleicht. Der Ansatz verzichtet bewusst auf die Nutzung einer Fernerkundungsaufnahme des Zeitpunktes t0, denn oft gibt es keine passende Bildinformation vom Zeitpunkt der Erstellung der Karte. Die entwickelte Methode realisiert stattdessen den Vergleich der Bildinformation (t1) mit der Karte (t0) über eine bildspezifische Modellbildung in idealtypische Referenzsignaturen für jede Klasse. Die Untersuchungen wurden für TerraSAR-X und RapidEye durchgeführt, wobei die Analyseverfahren verschieden sind, um den jeweiligen Sensoreigenschaften Rechnung zu tragen (REDER et al. 2011).

Auf Grund des unterschiedlichen Informationsgehalts beider Aufnahmesysteme bestehen klassenspezifische Qualitätsunterschiede in der Veränderungsindikation. Kern des Artikels ist es, die Unterschiede und Vorteile jedes Sensors in Bezug auf die klassenspezifische Veränderungsindikation zu erläutern und entsprechende Synergien beider Systeme aufzuzeigen.

1) Michael Schlund, Astrium GEO-Information Services, Claude-Dornier-Str., 88090 Immenstaad, michael.schlund@astrium.eads.net

2) Dr. Erik Zillmann, Dr. Rene Griesbach, Dr. Horst Weichelt, RapidEye AG, Molkenmarkt 30, 14776 Brandenburg a.d.H., zillmann@rapideye.de, griesbach@rapideye.de, weichelt@rapideye.de

2 Datengrundlage

2.1 Satellitendaten

Für die Umsetzung mit TerraSAR-X wurden einfach polarisierte StripMap Aufnahmen in HH-Polarisation (horizontal) verwendet. Da meist ein Radardatensatz nicht ausreicht, um Klassen zu trennen, wurden multitemporale Daten genutzt und zusätzliche Merkmale abgeleitet. Diese Merkmale sind *co-occurrence* Texturmaße (HARALICK et al. 1973), der Variationskoeffizient, die langzeitliche und kurzzeitliche Kohärenz. Die Aufnahmedaten stammen vom März, Juli, August und September 2010. Mit den vier Aufnahmetermen wurde versucht, phänologische Unterschiede der Vegetation zu erfassen und somit Vegetationsklassen besser trennen zu können. Für die Veränderungserfassung mit TerraSAR-X wurden 15 Merkmale verwendet (Tab. 1). Die Kombination von Rückstreuung und Kohärenz sowie die Texturmaße sind als Trennungsmerkmale von Landbedeckungsklassen geeignet (BRUZZONE et al. 2004).

Tab. 1: Übersicht der abgeleiteten Merkmale aus TerraSAR-X

Merkmal	Ursprungsdatensatz des Merkmals	Pixelausdehnung (in m)
4 Amplituden	-	2,5
Texturmaß <i>mean</i>	2010-07-26	2,5
<i>Variance</i>	2010-07-26	2,5
<i>Homogeneity</i>	2010-07-26	2,5
<i>Contrast</i>	2010-07-26	2,5
<i>Dissimilarity</i>	2010-07-26	2,5
<i>Entropy</i>	2010-07-26	2,5
<i>Second moment</i>	2010-07-26	2,5
<i>Correlation</i>	2010-07-26	2,5
Variationskoeffizient	2010-07-26	5
Langzeitliche Kohärenz	2010-03-27 & 2010-07-26	5
Kurzzeitliche Kohärenz	2010-07-26 & 2010-08-06	5

Die Umsetzung des Verfahrens unter Nutzung optischer Satellitenbildaufnahmen basiert auf einem mono-temporalen Datensatz des RapidEye Sensors vom Aufnahmezeitpunkt 07.07.2010. Im Rahmen der systematischen Datenprozessierung wurden die Daten sensorradiometrisch korrigiert und unter Verwendung hochgenauer Bodenreferenzpunkte orthorektifiziert. Auf eine Ko-Registrierung mit den Vektordaten des Basis-DLM (digitales Landschaftsmodell) konnte verzichtet werden, da die geometrische Abweichung zur Referenz kleiner als 5 m ist. Die verwendeten optischen Daten wurden nicht atmosphärisch korrigiert, da der verwendete methodische Ansatz unabhängig vom atmosphärischen Einfluss ist. Der abgedeckte Spektralbereich der 5 RapidEye Kanäle liegt zwischen 440 nm – 850 nm. Basierend auf diesem Bilddatensatz wurden verschiedene Merkmale erzeugt (Tab. 2).

Tab. 2: Abgeleitete Merkmale auf Basis der RapidEye Daten.

	Merkmale
Spektrale Kanäle	Blau, Grün, Rot, RedEdge, NIR, Brightness
Vegetationsindices	NDVI, ARVI, NDVI _{rededge} ,
<i>Band-Ratios</i>	NIR/Blau, Rot/Blau
<i>Statistische Transformationen</i>	<i>Sobel-Filter (3x3), 1. Hauptkomponente</i>
<i>Standardabweichung</i>	Blau, Grün, Rot, RedEdge, NIR, NDVI, HK1, Sobel-Filter, Homogeneity
<i>Haralick Texturen (HK 1, Rot)</i>	Entropy, Homogeneity, Dissimilarity, Correlation, Contrast, Angular 2nd Moment, Mean,
<i>IHS Transformation</i>	Intensity, Hue, Saturation

2.2 Nutzergeometrien

Die Veränderungsanalyse wurde für das Testgebiet Herne basierend auf dem aktuellen Basis DLM von 2010 im AAA® Fachschema (AFIS-ALKIS-ATKIS) durchgeführt. Diese Daten liegen als mehrlagiger Datensatz im Vektorformat vor und wurden von einem Projektpartner geometrisch in einen flachen Datensatz transformiert. Da die verwendete Satellitenbildgrundlage ebenfalls von 2010 datierte, war zu erwarten, dass nur wenige reale Veränderungen identifiziert werden könnten. Daher wurde der Vektordatensatz mittels einer Verschneidung mit ATKIS Daten aus dem Jahr 2008 rückdatiert, um die Anzahl der detektierbaren Veränderungen zu erhöhen.

Um Interoperabilität mit anderen Geoinformationen zu erreichen, wurde die Geodatenbank in die im Vorgängerprojekt entwickelte DeCOVER Nomenklatur übersetzt. Die DeCOVER Nomenklatur ist hierarchisch aufgebaut und besteht im feinsten Level aus über 30 Objektarten zur Landnutzung / Landbedeckung, aufgeteilt in die fünf verschiedenen Objektkategorien: Urbane Räume, Wald, Gewässer, Offenland agrarisch und naturnah geprägt (DeCOVER 2010). Einige dieser Klassen sind durch deren Landnutzung definiert und daher schwer mit Methoden der Fernerkundung zu detektieren.

3 Methodik

3.1 Veränderungsindikation

Die Veränderungsindikation erfolgt auf Basis von bestehenden Nutzerdaten (Vektordaten), die einem Zeitpunkt t_0 entsprechen, sowie aktueller Satellitenfernerkundungsdaten, die zum Zeitpunkt t_1 aufgenommen werden. Die bestehenden Nutzerdaten werden als Basis der Aktualisierung über Datenvorbereitungsprozesse syntaktisch und semantisch unter Berücksichtigung der Nutzerdatengeometrie in die DeCOVER Prozesskette überführt.

Die Vorverarbeitung der TerraSAR-X Daten umfasst die Segmentierung heterogener Klassen, die Kalibrierung der Daten sowie die Orthorektifizierung. Als Basis der Segmentierung wurden die Nutzergeometrien verwendet. Wie bereits erwähnt wurde, kann die Karte nicht direkt mit den Satellitenbilddaten verglichen werden. Der Vergleich erfolgt daher durch eine Modellbildung, indem für die Objekte der Klassen des Vektordatensatzes idealtypische Signaturen abgeleitet

werden. Mit Hilfe eines statistischen Vergleichs zwischen der Referenzsignatur mit der a priori Klasseninformation und der aktuellen Signatur aus den Bilddaten wird die Veränderung untersucht. Über das Maß der Übereinstimmung können Veränderungswahrscheinlichkeiten berechnet und mittels Grenzwertfestlegung Veränderungen indiziert werden (SCHLUND & PONCET 2011). Anschließend werden die indizierten Veränderungen mithilfe eines Regelwerkes automatisch hinsichtlich ihrer Plausibilität überprüft und falsch indizierte Veränderungen reduziert. Dabei wird innerhalb der indizierten Veränderungsobjekte segmentiert und deren Bestandteile sowie deren Kontext klassifiziert und bewertet (SCHLUND & PONCET 2011, PONCET et al. 2011).

Die für RapidEye-Daten entwickelte Methodik ist vergleichbar mit dem Ansatz für die Auswertung der TerraSAR-X Daten, denn auch hier erfolgt der Vergleich zwischen Bild und Karte auf Basis idealtypischer Signaturen der verschiedenen Klassen. Hier wird jedoch zunächst der Bildinhalt aller Nutzergeometrien der heterogenen Klasse Landwirtschaft mittels einer unüberwachten Klassifikation in mehrere Sub-Klassen geclustert. Der anschließende Segmentierungs- und Klassifizierungsprozess wird in zwei Iterationen durchgeführt. Im ersten Iterationsschritt werden mit einer schnellen Chessboard-Segmentierung (eCognition) innerhalb der vorhandenen originalen Nutzergeometrien Segmente von 1 ha Grundfläche erzeugt. Subsegmente mit einer Fläche < 0.25 ha, die aufgrund der Beibehaltung der Objektgrenzen dabei entstehen können, werden mit den angrenzenden Nachbarsegmenten gleicher Klasse fusioniert. Basis für die Analyse der Segmente sind die aus den originären Bilddaten generierten 39 spektralen Merkmale (Tab. 2). Die Klassifikation erfolgt mittels des C5-Klassifikators (QUINLAN 2003), der unabhängig von der Verteilung der Daten Entscheidungsbäume auf Basis von Trainingsdaten generiert. Kern des Verfahrens ist die automatische Auswahl der Referenzpolygone, auf deren Basis die ideal-typischen Signaturen für jede Nutzerklasse bestimmt werden.

Bei der nachfolgenden Klassifizierung wird dann entschieden, welche der Segmente diesen ideal-typischen Signaturen entsprechen und welche nicht, letztere werden als potentielle Veränderungspolygone ausgewiesen. Für jede Klasse wurde dazu ein Entscheidungsbaum unter Berücksichtigung der klassenspezifischen Übergangswahrscheinlichkeiten generiert und auf den Gesamtdatensatz angewendet (REDER et al. 2011). Alle Segmente, deren Klassenzugehörigkeit sich geändert hat, wurden anschließend selektiert, innerhalb der Nutzergeometrien zusammengefügt und anschließend einer zweiten Segmentierungsprozedur zugeführt. Diese zweite Segmentierung erfolgte mittels des Multi-Resolution-Verfahrens, um die Geometrie der veränderten Fläche möglichst gut zu erfassen. Anschließend werden die generierten Segmente abermals mit den zuvor erzeugten Entscheidungsbäumen klassifiziert.

3.2 Qualitätskontrolle

Gegenstand der Qualitätsprüfung waren die durch die Veränderungsanalyse generierten Datensätze basierend auf den für TerraSAR-X beziehungsweise RapidEye entwickelten Verfahren. Beide Datensätze der Veränderungsindikation wurden hinsichtlich ihrer thematischen Genauigkeit überprüft. Die angewandten Methoden zur Genauigkeitsanalyse basieren auf abgesicherten statistischen Methoden und entsprechen derzeitigen allgemeinen Standards (DIN ISO 19100-Serie). Die Berechnung des Stichprobenumfangs erfolgte unabhängig von der Fläche

der Klassifikation nach GOODCHILD et al. 1994.

Im Rahmen der Qualitätsprüfung wurde untersucht, ob eine als „verändert“ indizierte Fläche beziehungsweise eine als „nicht verändert“ gekennzeichnete Fläche korrekt ausgewiesen wurde. Darüber hinaus wurde im Falle einer vorgefundenen Veränderung die dazugehörige Veränderungsrichtung angegeben. Diese Angabe ermöglicht es, signifikante Veränderungsrichtungen zwischen bestimmten Klassen und/oder übergeordneten Kategorien, wie beispielsweise von Landwirtschaft nach Bebauung, zu analysieren.

Die Prüfung der thematischen Genauigkeit fand mittels einer gewichteten stratifizierten Zufallsstichprobe statt. Gewichtet, da die einzelnen Klassen in deutlich unterschiedlichen Mengenverhältnissen vorliegen. Die Anzahl der Stichproben variiert deshalb mit der Anzahl des Vorkommens einer Klasse im Untersuchungsgebiet. Stratifiziert bedeutet, dass aus allen vorkommenden Klassen eine gewisse Stichprobe gezogen wird. Bei einer zufällig verteilten Stichprobe erhalten somit alle Polygone einer Klasse die gleiche statistische Chance in die Stichprobe zu gelangen. Die Stratifizierung der Zufallsstichprobe basiert auf den Klassen des DeCOVER Objektartenkatalogs.

Anhand der im Projekt vorhandenen Genauigkeitsvorgaben und einem angenommenen Vertrauensintervall von 5 % wurde die minimale Größe einer Stichprobe je Klasse (Stratum) ermittelt. Durch diese minimale Anzahl an Stichproben wird gewährleistet, dass die Stichproben für das Untersuchungsgebiet repräsentativ sind. Die Größe der Gesamtstichprobe ergab sich aus der Anzahl der vorhandenen Klassen (Straten) multipliziert mit der errechneten Stichprobe pro Klasse. Diese Gesamtstichprobe wurde mit dem prozentualen Vorkommen der Klassen nach der Aggregation ins Verhältnis gesetzt. Die Obergrenze der Stichproben je Klasse entspricht der errechneten minimalen Stichprobengröße. Aufgrund der jeweiligen Gegebenheiten in einem Testgebiet (Häufigkeit der Klassen) kann die Anzahl der Stichproben pro Klasse variieren und unterhalb dem errechneten Minimum liegen. Hieraus ergeben sich Auswirkungen dahingehend, dass das Ergebnis für die betroffene Klasse möglicherweise nicht mehr repräsentativ ist.

Bei der sich anschließenden Prüfung wurden die selektierten Polygone als Ganzes bewertet. Als Referenz dienten die optischen Satellitendaten, die zur Erstellung der Veränderungsindikation verwendet wurden. Die Ergebnisse dieser Prüfung wurden in eine Konfusionsmatrix übertragen, deren Ergebnisse den nachfolgenden Tabellen entnommen werden können und beschrieben werden. Die unterschiedliche Anzahl an Stichproben pro Datensatz resultiert aus der unterschiedlichen Menge von Polygonen, die als verändert beziehungsweise als nicht verändert gekennzeichnet wurden.

4 Ergebnisse & Diskussion

4.1 Sensorspezifische Ergebnisse

Insgesamt wurden im Rahmen des Projektes ca. 40.000 Polygone im Untersuchungsgebiet Herne untersucht. Dies entspricht einer Fläche von rund 1.000 km². Bei der Anwendung des Verfahrens mit TerraSAR-X wurden ~ 5.000 Veränderungspolygone indiziert, was 14 % der untersuchten Polygone entspricht. Das bedeutet, dass ca. 200 km² der ursprünglichen Fläche als verändert erkannt wurden (20 %). Das Ziel der Fokussierung wurde damit erreicht, da bei nachfolgenden

Prozessen einer Aktualisierung nur noch 1/5 der Fläche und ca. 1/10 der Polygone bearbeitet werden müssten. Im Vergleich zu einer Vollinventur würden hierdurch arbeits-, kosten- und zeitintensive Prozesse reduziert werden. In Tabelle 3 ist eine Konfusionsmatrix des Ergebnisses aus TerraSAR-X dargestellt. Die Qualitätsprüfung erfolgte für TerraSAR-X anhand von 1.842 Stichprobenpunkten und ergab eine Gesamtgenauigkeit von ~ 77 %.

Tab. 3: Konfusionsmatrix des TerraSAR-X Ergebnisses (unabhängige Qualitätskontrolle).

	Veränderung	Keine Veränderung	User's Accuracy
Veränderung	358	237	60,17 %
Keine Veränderung	187	1060	85,00 %
Producer's Accuracy	65,69 %	81,73 %	Overall acc.: 76,98 %

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der Validierung der Veränderungserfassung mit RapidEye Daten entsprechend der oben beschriebenen Methodik. Auch hier konnte das Ziel einer Fokussierung durch Reduktion der Anzahl der zu bearbeitenden Polygone auf ca. 50% erreicht werden. Geprüft wurden hier insgesamt 1.932 Polygone. Von den insgesamt vorhandenen 525 Veränderungen konnten über 75% gefunden werden. Allerdings wurden von den 1.030 als verändert ausgewiesenen Polygonen nur 397 als tatsächliche Änderung bestätigt, für 633 Flächen hat sich dieser Verdacht nicht bestätigt. Dies wirkt sich entsprechend auf die formale Gesamtgenauigkeit des Verfahrens aus.

Tab. 4: Konfusionsmatrix des RapidEye Ergebnisses (unabhängige Qualitätskontrolle).

	Veränderung	Keine Veränderung	User's Accuracy
Veränderung	397	633	38,54 %
Keine Veränderung	128	774	85,81 %
Producer's Accuracy	75,62 %	50,01 %	Overall acc.: 60,61 %

Eine genauere Analyse zeigt dabei, dass die nicht gefundenen Veränderungen nicht gleichmäßig verteilt über alle Klassen auftreten, sondern sich auf bestimmte Klassenübergänge konzentrieren. Für die weitere Untersuchung und Verbesserung der Methodik war dementsprechend eine klassenspezifische Untersuchung der erreichten Genauigkeit erforderlich.

Die Qualitätsprüfung beinhaltet nicht nur Informationen, ob eine Veränderung vorliegt, sondern auch die Angabe über die Richtung der Veränderung. Diese Information der Veränderungsrichtung wurde dazu verwendet, um häufige und wichtige Veränderungen zu erkennen. Wohnbebauung und Industrie verändern sich in lediglich ca. 10 % bzw. 9 % der Fälle der Stichproben. Die häufigsten Veränderungen sind von Grünland zu anderen Klassen, wobei

der Übergang von Grün- zu Ackerland den größten Anteil der Veränderungen stellt. Insgesamt verändern sich laut Validierungsergebnissen 45 % aller Strichproben der Klasse Grünland. Weitere Klassen, die sich häufig verändern, sind Mischwald (44 %), die Klasse „Strauchvegetation, Wald-Strauch Übergangsstadien, Gehölzstrukturen“ (30 %), städtische Grünflächen (30 %), Nadelwald (27 %) und Laubwald (25 %). Hierbei handelt es sich nicht nur um natürliche Veränderungen, sondern auch um Ungenauigkeiten in ATKIS, die ebenso eine Veränderung indizieren sollten.

Die Information der Veränderungsrichtung wurde verwendet, um Detektionen klassenspezifisch zu untersuchen. Hierfür wurden die Validierungspunkte, die separat für RapidEye und TerraSAR-X vorlagen, zusammengefasst, um eine verlässliche Anzahl an Punkten in bestimmten Klassen sowie vergleichbare Resultate zu erzielen. Nachfolgend werden die Ergebnisse für das Verfahren mit RapidEye und TerraSAR-X in den Veränderungsrichtungen Wohnbaufläche, Industrie und Gewerbefläche und Ackerbau vergleichend beschrieben. Diese Analyse beinhaltet demnach Punkte die beispielsweise zu Wohnbaufläche wurden bzw. Wohnbaufläche geblieben sind.

Tab. 5: Konfusionsmatrix der TerraSAR-X und RapidEye Ergebnisse für den Übergang zu Wohnbaufläche (aus 806 Untersuchungspunkten)

Klasse Wohnbaufläche (t1)	77 „Veränderungen“		729 „Keine Veränderungen“	
	Optische RapidEye Daten	TerraSAR-X Daten	Optische RapidEye Daten	TerraSAR-X Daten
Veränderungen	68	45	384	1
Keine Veränderungen	9	32	345	728

In der Tabelle 5 sind die Ergebnisse für die Veränderung in Richtung Wohnbaufläche zu erkennen. Hierbei sind die Ergebnisse der RapidEye und TerraSAR-X Daten vergleichend dargestellt. Die 806 Untersuchungspunkte setzen sich demzufolge aus der Spalte „Veränderungen“ und „Keine Veränderungen“ separat für RapidEye und TerraSAR-X zusammen. Die richtigen Ergebnisse sind hierbei grau hinterlegt. Von tatsächlich vorhandenen 77 Änderungen in der Klasse Wohnbaufläche konnten mittels des Verfahrens basierend auf RapidEye Bildern 68 (88 %) identifiziert werden. Darüber hinaus wurden von 729 tatsächlich nicht geänderten Objekten weitere 384 (52 %) als geändert eingestuft. Das Verfahren mit den optischen RapidEye Daten weist damit eine geringe Auslassungsrate bei gleichzeitigem hohem Einschließungsfehler auf. Auf der anderen Seite impliziert der Fakt, dass fast alle tatsächlichen Veränderungen gefunden werden, auch, dass die restlichen Objekte folglich mit hoher Wahrscheinlichkeit unverändert sind. Dies wird dadurch deutlich, dass von den insgesamt als „Keine Veränderungen“ ausgewiesenen 354 Polygonen nur 9, also weniger als 3 %, doch als geändert bewertet wurden. Somit wurden also 97 % der als nicht verändert ausgewiesenen Flächen richtig erkannt (Tab. 5).

Die auf der Nutzung von TerraSAR-X basierende Lösung erzielt eine Gesamtgenauigkeit im

Übergang zur bebauten Klasse von ~96 % (Tab. 5), wobei allerdings über 40 % der Änderungen nicht erfasst wurden. Eine genaue Analyse der Übergänge zeigt, dass neue Bebauungsflächen fast ausnahmslos gefunden werden und TerraSAR-X sich daher sehr gut eignet, neu bebaute Objekte zu erkennen und richtig zu detektieren. Die 32 Auslassungen stammen zu einem Drittel von dem Übergang von Industrie- zu Wohnbebauung. Diese funktionale Veränderung ist mit Fernerkundungsmethoden kaum zu detektieren, da verschiedene Bauarten schwer voneinander zu trennen sind. Im Gegensatz dazu wird nur ein Objekt überdetektiert.

Tab. 6: Konfusionsmatrix der TerraSAR-X und RapidEye Ergebnisse für den Übergang zu Industrie und Gewerbefläche (aus 211 Untersuchungspunkten)

Klasse Industrie und Gewerbefläche (t1)	18 „Veränderungen“		193 „Keine Veränderungen“	
	Optische RapidEye Daten	TerraSAR-X Daten	Optische RapidEye Daten	TerraSAR-X Daten
Veränderungen	14	13	122	4
Keine Veränderungen	4	5	71	189

Ähnliche Ergebnisse können mit TerraSAR-X für die Übergänge in die Klasse Industrie und Gewerbefläche erzielt werden. Auch hier liegt die Gesamtgenauigkeit in dieser Klasse bei ~95 % (Tab. 6). In der Detektion von Industriebebauung werden mit TerraSAR-X 72 % der Veränderungen richtig detektiert, wobei lediglich vier Objekte überdetektiert werden. Auch hier beruhen einige Auslassungen auf der Veränderung von einer Bauart in eine andere. Die auf RapidEye Daten basierende Methode erkennt im Test 14 von 18 (77 %) geänderten Klassensegmenten (Tab. 6). Ähnlich der Wohnbebauung können mit dem Verfahren der optischen RapidEye-Daten nahezu alle Veränderungen detektiert werden, wobei jedoch wiederum eine Überdetektion stattfindet. Das Verfahren reagiert sensibel auf Abweichungen zur Referenzsignatur, die in diesem Fall vor allem durch Vegetationsflächen innerhalb der Industriebebauung hervorgerufen werden, welche jedoch nicht als Veränderungen zu interpretieren sind.

Tab. 7: Konfusionsmatrix der TerraSAR-X und RapidEye Ergebnisse für den Übergang zu Ackerbau (aus 368 Untersuchungspunkten)

Klasse Ackerbau (t1)	66 „Veränderungen“		302 „Keine Veränderungen“	
	Optische RapidEye Daten	TerraSAR-X Daten	Optische RapidEye Daten	TerraSAR-X Daten
Veränderungen	64	30	140	73
Keine Veränderungen	2	36	162	229

An einem weiteren Beispiel werden natürliche Objektklassen betrachtet. Mittels der RapidEye basierten Methode lassen sich 64 von 66 Änderungen (97 %, Tab. 7) in der Klasse Ackerbau automatisch detektieren. Lediglich 2 Auslassungen erlauben hier den Schluss, dass die Methode zur Änderungsindikation sehr geeignet ist und die als „Keine Veränderung“ ausgewiesenen Polygone tatsächlich auch nicht verändert sind und in der Karte der korrekten Klasse angehören. Auch hier ist der Einschließungsfehler im Vergleich zu TerraSAR-X höher. Im Vergleich zu den Bebauungsklassen ist die Überdetektionsrate jedoch geringer, was auf eine bessere Trennbarkeit der Klasse Landwirtschaft hindeutet. Wie auch in den vorangegangenen Beispielen weist die auf TerraSAR-X basierende Methode einen großen Anteil (229 von 302, entspricht 76 %) der unveränderten Landwirtschaftsflächen-segmente korrekt aus. Gegenüber den Bebauungsklassen sind jedoch sowohl der Einschließungsfehler als auch die tatsächlich nicht detektierten Landbedeckungsveränderungen höher. Besonders der Übergang von Wirtschaftsgrünland zu Ackerbau wird schlecht erkannt (35 von 36 ausgelassenen Detektionen, Tab. 7). Beide Klassen sind nur schwer voneinander zu trennen, so dass Veränderungen zwischen Acker und Grünland generell schlecht zu detektieren sind.

4.2 Synergieeffekte

Wie in den meisten Anwendungsfällen ist die Informationsgenauigkeit höher, je mehr Ausgangsinformationen verfügbar sind. Die Ergebnisse der Bebauungsklassen zeigen, dass TerraSAR-X sehr gut geeignet ist, neu bebaute Objekte zu detektieren und Übergänge von natürlichen Oberflächen zu neuer Bebauung zu erkennen. Mit dem auf RapidEye Daten basierendem Verfahren können hier insgesamt deutlich mehr Veränderungen detektiert werden, jedoch ist die Überdetektion in diesen Klassen höher und daher eine Fokussierung schwieriger. Das Beispiel der Industrie- und Gewerbefläche mit einer Genauigkeit von ~95 % zeigt deutlich die Stärke des TerraSAR-X Verfahrens in diesen Klassen. Hier ist die Anzahl der gefundenen Veränderungen im Vergleich zum RapidEye Verfahren ähnlich bei einer weitaus stärkeren Fokussierung aufgrund geringer Überdetektion.

Im Vergleich dazu sind die optischen RapidEye Daten besser geeignet, Veränderungen zwischen natürlichen Oberflächen zu detektieren, wie das Beispiel der Klasse Ackerbau zeigen soll. Mit RapidEye-Bildern und dem dafür entwickelten Verfahren können nahezu alle Veränderungen zu dieser Klasse detektiert werden. Der Einschließungsfehler ist im Vergleich zu den urbanen Klassen wesentlich geringer. Die Anzahl der Überdetektionen mit TerraSAR-X in der Klasse Ackerbau ist höher als in den Wohnbau-, Industrie und Gewerbeklassen. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass sich die Klasse Ackerbau durch eine große Variabilität bei gleichzeitig geringer Trennbarkeit zu anderen Vegetationsklassen auszeichnet. Vor allem die Veränderung von Grünland zu Ackerbau erzeugt Konfusionen, die in den RapidEye Daten deutlich geringer sind.

5 Fazit & Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass beide Sensoren und die dafür jeweils entwickelten Verfahren zur Änderungsdetektion Vorteile und Nachteile haben. Die Leistungsfähigkeit der betrachteten Verfahren wird jedoch im Zusammenhang mit den jeweiligen Nutzeranforderungen zu bewerten

sein. Aus den hier aufgezeigten Beispielen ist bereits ersichtlich, dass eine multisensorale Anwendung Vorteile mit sich bringen würde. Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Verfahren sind die Ergebnisse in Bezug auf die Synergieeffekte jedoch bedingt aussagekräftig. Daher sind weitere Analysen notwendig, um die Synergieeffekte quantitativ beschreiben zu können.

Des Weiteren könnten die Verfahren effektiver gemacht und verbessert werden. Für beide Sensoren gilt, dass sich durch eine Fokussierung auf Landbedeckungsklassen die Gesamtgenauigkeit verbessern ließe. Bei der Veränderungsindikation im DeCOVER Projekt werden über 30 Klassen untersucht, die bebaute Bereiche, Vegetationsflächen, vegetationsfreie/arme Flächen und Gewässer enthalten. Diese Vielzahl an Klassen erlaubt keine Auseinandersetzung mit einem bestimmten Trennbarkeitsproblem wie beispielsweise Grünland und Ackerland. Die klassenbezogenen Unterschiede in den Ergebnissen sind sowohl in den angewandten Verfahren als auch dem Informationsgehalt der verwendeten Sensordaten begründet. In der Integration multi-temporalen RapidEye Daten wird noch ein zusätzliches Verbesserungspotenzial gesehen.

Danksagung

Das Projekt DeCOVER2 wird gefördert von der Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Ein Dank gilt auch der GAF AG für die Unterstützung und Durchführung der unabhängigen Qualitätsanalysen.

6 Literaturverzeichnis

- BRUZZONE, L., MARCONCINI, M., WEGMÜLLER, U. & WIESMANN, A., 2004: An Advanced System for the Automatic Classification of Multitemporal SAR Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **42** (6), S. 1321-1334.
- BUCK, O., 2010: DeCOVER 2 – The German GMES extension to support land cover data systems: Status and outlook, *Proceedings ESA Living Planet Symposium Bergen, Norwegen*. 28.06-02.07.2010.
- DeCOVER 2010: DeCOVER Objektartenkatalog V2.0, <http://www.decover.de/public/Beschreibung%20DeCOVER%20Ausgangsdienst%200910.pdf>, zuletzt besucht Februar 2011.
- GOODCHILD, M.F., BIGING, G.S., CONGALTON, R.G., LANGLEY, P.G., CHRISMAN N.R. AND F.W. DAVIS. 1994. Final Report of the Accuracy Assessment Task Force. California Assembly Bill AB1580, Santa Barbara: University of California, National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA).
- HARALICK, R.M., SHANMAGUN, K. & DINSTEN, I., 1973: Textural Features for Image Classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **3** (6), S. 610-21.
- LU, D. & Q. WENG, 2006: Use of impervious surface in urban land-use classification. - *Remote Sensing of Environment*, **102**, 146-160.
- PONCÉT, F. VON, B. MAYHEW & M. SCHLUND, 2011: TerraSAR-X support for geo-database update. – Poster of 4th TerraSAR-X Science Team Meeting, 14 – 16 February 2011, Oberpfaffenhofen, Germany.
- QUINLAN, J.R., 2003. Data Mining Tools See5 and C5.0. Rulequest Research, St. Ives, NSW,

Australia, www.rulequest.com/see5-info.html.

- SCHLUND, M. & F. VON PONCÉT, 2011: TerraSAR-X Daten zur Unterstützung der Aktualisierung von Geodatenbanken. In: SEYFERT, E. (Hrsg.): Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V. Band 20. 31. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. Potsdam: Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF), 389-399.
- REDER, J., ZILLMANN, E., KUNZE, M., LOEWE, P. & WEICHEL, H., 2011: Automatische Erfassung potentieller Veränderungsflächen in thematischen Vektordaten unter Verwendung von aktuellen nRapidEye Bilddaten. In: SEYFERT, E. (Hrsg.): Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V. Band 20. 31. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. Potsdam: Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF),