



Master Thesis

Im Rahmen des
Universitätslehrganges »Geographical Information Science & Systems«
(UNIGIS MSc) am Zentrum für GeoInformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron- Universität Salzburg

-
zum Thema

VEGETATIONSKARTIERUNG MIT HILFE VON HÖCHSTAUFLÖSENDEN SATELLITENDATEN

vorgelegt von

Mag. Valerija Petrinec
u1117, UNIGIS MSc Jahrgang 2004

Zur Erlangung des Grades
»Master od Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc (GIS)«

Gutachter
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Ptuj, im April 2007

Danksagung

Vodnogospodarski biro Maribor d.o.o. sei gedankt für die Ermöglichung meines UNIGIS Studiums.

Danke zu Boštjan, dass Du mir bei Seite gestanden hast und in diesen Monaten so oft “Mama” und “Papa” – Fuktion übernommen hast.

Danke an meinen Eltern für Eure Unterstützung.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne jede unerlaubte fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt wurde. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäss übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

Ptuj, im April 2007

Valerija Petrinec (UNIGIS MSc 2004, u1117)

Kurzfassung

Konventionelle Methoden der Habitattypenerfassung, wie die terrestrische Kartierung, sind sehr zeit- und kostenaufwendig.

In dieser Arbeit wird die Eignung sehr hoch auflösenden Satellitenbilddaten für den Zweck der Habitattypenkartierung untersucht. Es wird versucht zu überprüfen, ob mit Hilfe von Fernerkundung eine Reduzierung der terrestrischen Kartierungsfläche erzielt werden kann.

Die Arbeit beschreibt ein objektorientierter Klassifikationsansatz mit Software Definiens Professional 5.0 (Definiens AG) an einem QuickBird-Satellitenbild. Hauptziel stellt die Untersuchung des operationellen Einsatzes von *Standard Nearest Neighbor* Klassifikator zur Erfassung von Habitattyp-Hauptgruppen am Beispiel der QuickBird- Satellitendaten und vorhandener Teilkartierung. Zielklassen der Klassifikation sind die eigentliche Habitattypen-Hauptgruppen Wald/Baumbestand, Ackerfläche, Grünland und Siedlung.

Eine Validation der Klassifikationsgenauigkeit wird durch den Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit den Ergebnissen der Geländekartierung berechnet.

Abstract

Traditional habitat mapping methods are very time- and money-consuming.

This work evaluates the use of very high resolution satellite data for the purpose of habitat mapping. The focus is to find out wheather the use of remote sensing approach results in reduction of area for freeland mapping.

It describes an object-based application with Definiens Professional 5.0 -Program (Definiens AG) based on QuickBird scene. The aim was to test the efficiency of *Standard Nearest Neighbor* classification algorithm for the purpose of capturing habitat main-classes in QuickBird satellite imagery on the basis of available mapping data. The object of classification was to distinguish between following classes: forest/treegroups, field, greenland and settlements.

For the evaluation of the classification accuracy, the classified objects have been compared to results of freeland mapping.

Inhaltsverzeichnis**A Abbildungsverzeichnis****B Tabellenverzeichnis**

1	Einführung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Hypothese Aufstellen	3
1.3	Lösungsansatz	4
	Theorie	4
	Methoden	4
	Testgebiet/-datensatz	4
	Erwartete Ergebnisse	5
2	Literaturüberblick	6
3	Lösungsansatz	9
3.1	Theorieansatz	9
3.2	Methoden	11
	3.2.1 Segmentierung	11
	3.2.2 Klassifikation	12
	3.2.2.1 Nearest Neighbor	12
	3.2.2.2 Fuzzy-Klassifikation	13
3.3	Testgebiet/-datensatz	13
	3.3.1 Untersuchungsgebiet	13
	3.3.2 Datengrundlagen	14
	3.3.2.1 QuickBird Satellitendaten	14
	3.3.2.2 Habitattypenkartierung	15
4	Beschreibung	18
4.1	Segmentierung	18
4.2	Klassifikation	20

<i>Inhaltsverzeichnis</i>		<i>ii</i>
4.2.1	Definition von Merkmalsraum	20
4.2.2	Klassenhierarchie	21
4.2.3	Trainingsgebiete bzw. Beispielflächen	22
4.2.4	Klassifikation	25
4.2.5	Genauigkeitsanalyse	25
5	Ergebnisse und Diskussion	26
5.1	Segmentierung	26
5.2	Klassifikation	27
5.2.1	Nichthierarchische Klassifikation	27
5.2.2	Hierarchische Klassifikation	39
5.3	Genauigkeitsanalyse	45
6	Zusammenfassende Beurteilung und Ausblick	52
7	Literatur	54

A Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lage vom Testgebiet sowie der verwendete QuickBird-Bildausschnitt.	15
Abbildung 2:	Ergebnis der Habitattypen-Geländekartierung in Form von Sammeltypen	17
Abbildung 3:	Hierarchische Segmentierung in einem Bildausschnitt des Testgebietes	19
Abbildung 4:	RGB-Bild (links) und NDVI-Bild (rechts; Level 3, Scale Parameter 100) des analysierten Testgebietes. Hell = hoher NDVI, dunkel = niedriger NDVI	21
Abbildung 5:	Die Anlage der Klassen in verschiedenen Segmentierungsebenen.	22
Abbildung 6:	Zuweisung von Beispielflächen zu den definierten Klassen.	23
Abbildung 7:	Testgebiet mit kartiertem Teilbereich, der als Basis für die Auswahl von Trainingsgebiete diene.	24
Abbildung 8a:	Klassifikationsergebnisse der Klasse Wald/Baumbestand auf einzelner Segmentierungsebenen	28
Abbildung 8b:	Klassifikationsergebnisse der Klasse Wald/Baumbestand auf einzelner Segmentierungsebenen	29
Abbildung 9a:	Klassifikationsergebnisse der Klasse Grünland auf einzelner Segmentierungsebenen	31
Abbildung 9b:	Klassifikationsergebnisse der Klasse Grünland auf einzelner Segmentierungsebenen	32
Abbildung 10a:	Klassifikationsergebnisse der Klasse Siedlung auf einzelner Segmentierungsebenen	34
Abbildung 10b:	Klassifikationsergebnisse der Klasse Siedlung auf einzelner Segmentierungsebenen	35
Abbildung 11a:	Klassifikationsergebnisse der Klassen vegetationslose Ackerflächen (violett) und vegetationsbedeckte Ackerflächen (rosa) auf einzelner Segmentierungsebenen	37
Abbildung 11b:	Klassifikationsergebnisse der Klassen vegetationslose	38

	Ackerflächen (violett) und vegetationsbedeckte Ackerflächen (rosa) auf einzelner Segmentierungsebenen	
Abbildung 12a:	Klassifikationsergebnisse des hierarchischen Ansatzes auf einzelner Segmentierungsebenen.	40
Abbildung 12b:	Klassifikationsergebnisse des hierarchischen Ansatzes auf einzelner Segmentierungsebenen.	41
Abbildung 13:	Klassifikationsergebnis	43
Abbildung 14:	Kartierungsergebnis	44
Abbildung 15a:	Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit den Ergebnissen der Geländekartierung mittels Testpunkte. Links: Klassifikationsergebnisse, Rechts: Ergebnisse der Geländekartierung; Klasse: Ackerfläche	46
Abbildung 15b:	Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit den Ergebnissen der Geländekartierung mittels Testpunkte. Links: Klassifikationsergebnisse, Rechts: Ergebnisse der Geländekartierung; Klassen von oben nach unten: Grünland.	47
Abbildung 15c:	Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit den Ergebnissen der Geländekartierung mittels Testpunkte. Links: Klassifikationsergebnisse, Rechts: Ergebnisse der Geländekartierung; Klasse: Siedlung.	48
Abbildung 15d:	Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit den Ergebnissen der Geländekartierung mittels Testpunkte. Links: Klassifikationsergebnisse, Rechts: Ergebnisse der Geländekartierung; Klasse: Wald/Baumbestand.	49
Abbildung 16:	Fehlklassifizierte (blau) Testpunkte der Klasse Grünland; Links: Im Randbereich der Ackerflächen; Rechts: Im Bereich der Siedlung.	50
Abbildung 17:	Fehlklassifizierte (blau) Testpunkte der Klasse Siedlung	51

B Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Daten von QuickBird – Satellitensensor	14
Tabelle 2: Verwendete Prameterkonstellation	19
Tabelle 3: Klassifikationsgenauigkeit	50

1 EINFÜHRUNG

1.1 MOTIVATION

Eine Inventarisierung der Natur durch die Grunddatenerhebung stellt die Basis für die Entwicklung, Umsetzung und Steuerung des Gebietsmanagements und konkreter Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen, für die Gewährleistung des Verschlechterungsverbots der Habitate sowie den Einstieg in das Gebietsmonitoring und die Erfüllung der Berichtspflichten nach der FFH-Richtlinie.

In Slowenien nehmen die bisher nominierten Natura 2000 Gebiete 36% der gesamten Landesfläche ein (<http://www.natura2000.gov.si/obmocja.htm>). Nur für wenige von diesen Gebieten gibt es flächendeckende Informationen zu den einzelnen Lebensräumen und Arten, zu ihrem Entwicklungsstand sowie möglichen Gefährdungen und Beeinträchtigungen.

Mein Fachbereich sind Habitattypenkartierungen – von Feldaufnahmen bis zur digitalen Bearbeitung von Aufnahmedaten (Umsetzen von Daten in ein GIS-Format). Um 1 km² von Landschaft in Form von Habitattypen zu erfassen, sind im Durchschnitt drei Arbeitstage erforderlich. Davon wird ein Arbeitstag für die Aufnahmen in Freiland verbraucht und zwei Arbeitstage für die digitale Vorbereitung der Daten. In einer Vegetationsperiode (von Mai bis September) kann ein Kartierer ein ca. 40 km² grosses Gebiet erfassen.

Konventionelle Methoden der Habitattypenerfassung, wie die terrestrische Kartierung, sind zum einen sehr zeit- und kostenaufwendig, andererseits ist durch die Subjektivität bei der Auswertung, durch die Generalisierungen sowie durch eine hohe Fehlertoleranz bezüglich der räumlichen Abgrenzung der Habitattypen, eine Vergleichbarkeit der Datenbestände sowie eine Identifizierung von Veränderungen der Naturausstattung nicht gewährleistet (Gähler et al., 2004).

Da in Slowenien nur wenige Experten diesen Fachbereich abdecken, ist es notwendig, eine Methodologie zu finden, um die Feldkartierung nur auf die vom Naturschutzfachliche Aspekt wichtige Habitattypen einzuschränken. Viel Zeit wird nämlich im Freiland auf die Aufnahme von »unwichtigen« Habitattypen verwendet, wie z.B. Ackerflächen, Strassen, Wege, Bebauung.

Bisher konnten Satellitenbilder für die Ansprache von Habitattypen nur wenig eingesetzt werden, da die räumliche Auflösungsvermögen der herkömmlichen operationellen

Aufnahmesysteme für viele Fragestellungen der Habitattypenkartierung unzureichend war. Mit der Entwicklung neuer Sensoren (Ikonos, QuickBird) mit verbesserten Eigenschaften, vor allem hinsichtlich des räumlichen Auflösungsvermögens, können jetzt auch Einzelobjekte und kleinräumige Strukturen identifiziert werden (Werner und Kenneweg, 1999).

In dieser Arbeit wird die Eignung sehr hoch auflösenden Satellitenbilddaten für den Zweck der Habitattypenkartierung untersucht. Es soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, ob die hochauflösenden Satellitendaten für eine Habitattypenkartierung eingesetzt werden sollen, um die zeit- und kostenintensive Feldkartierung einzuschränken.

1.2 HYPOTHESE AUFSTELLEN

Ziel dieser Arbeit ist durch Evaluierung der Genauigkeit der Auswertung die folgende Frage zu beantworten:

Wie weit kann die Freilandkartierung der Habitattypen durch den Einsatz von objektorientierten Analyse sehr hoch auflösenden Satellitenbilddaten ersetzt werden?

Es wird angenommen, dass wegen der hohen Komplexität von natürlichen und naturnahen Habitattypen, ein kompletter Ersatz der Freilandkartierung durch eine objektorientierte Bildanalyse von sehr hoch auflösenden Satellitenbilddaten nicht gewährleistet werden kann. Deswegen wird bei dieser Arbeit von einer Annahme ausgegangen, dass eine Kombination von Methoden der Fernerkundung und klasischer Kartierung die nutzbare Ergebnisse gibt. Es wird versucht zu überprüfen, ob mit Hilfe von Fernerkundung eine Reduzierung der terrestrische Kartierungsfläche erzielt werden kann.

1.3 LÖSUNGSANSATZ

Theorie

Neue Lösungsansätze, die auf der Abgrenzung homogener Objekte als Basis für die weitere Bearbeitung setzen, haben einen grossen Umbruch in der digitalen Bearbeitung von Fernerkundungsdaten verursacht (Blaschke, 2002).

Bei diesen objektbasierten Verfahren werden die Satellitendaten zuerst in homogene Regionen, bestehend aus ähnlichen Pixel, segmentiert. Die Zuordnung der Segmente (Objekte) zu einzelnen Klassen basiert auf deren Spektralverhalten, Textur und Gestalt sowie Nachbarschaftbeziehungen zwischen Bildelementen (Blaschke, 2000).

Methoden

Die Firma Definiens AG bietet mit Definiens Professional (früher eCognition) eine Bildverarbeitungssoftware an, welche einen objektorientierten Klassifikationsansatz unterstützt.

Als erster Bearbeitungsschritt mit Definiens Professional erfolgt eine Segmentierung der Bilddaten in homogene Areale. Durch die Segmentierung gebildete Objekte stellen die Grundlage für die eigentliche Klassifikation dar, die entweder über auf *Fuzzy Logic* basierte Zugehörigkeitsfunktionen oder durch die Auswahl von Beispielflächen (*Nearest Neighbor*-Klassifikator) erfolgen kann.

Im Rahmen dieser Arbeit wird »Standard Nearest Neighbor« Klassifikator angewandt, das eine schnelle und einfache Klassifikation von Bildobjekte auf der Basis von angegebenen Beispielflächen ermöglicht.

Testgebiet/-datensatz

Als Testgebiet wird ein Gebiet mit 2x2 km² Ausdehnung gewählt, der Bestandteil des Naturparks Goričko ist. Das Gebiet ist durch einen Gradient von intensiver zu extensiver Nutzung charakterisiert und enthält so anthropogene wie auch natürliche Habitattypen.

Als Datengrundlage werden QuickBird-Satellitendaten sowie Daten der Habitattypen-Kartierung verwendet.

Erwartete Ergebnisse

Es wird davon ausgegangen, dass anhand von Klassifikationsansatz mit Beispielflächen der bekannten Kartierungen (aus näheren Umgebung), eine Reduktion der kartierenden Fläche nur auf die für eine Detailkartierung »interessante« Bereiche erzielt wird.

Es wird auch vorgenommen, dass die Klassifizierungsergebnisse in GIS Umgebung weiter bearbeitet werden können, was eine Verkürzung der Digitalisierungszeit ergeben wurde.

2 LITERATURÜBERBLICK

Es gibt eine Reihe verschiedener Veröffentlichungen zu den Potentialen und Grenzen der Anwendung von objektbasierten Verfahren und höchstauflösenden Satellitendaten für die Erfassung von Vegetation.

In mehreren Arbeiten werden pixelbasierte und objektbasierte Verfahren verglichen (Meinel et al., 2001; Koch et al., 2003; Lothar und Werner, 2004). Durch den Vergleich von beiden Methoden auf Ikonos-Datensatz in einem urban geprägten Raum hat sich ergeben, dass durch die Einbeziehung von Nachbarschaftbeziehungen und Flächenform, die Software eCognition differenziertere Klassenschlüssel-Anlage ermöglicht (Meinel et al., 2001).

Die Gegenüberstellung von beiden Verfahren auf der Basis von Ikonos-Satellitenbilder in der Arbeit von Lothar und Werner (2004) hat gezeigt, dass die segmentbasierte Verfahren sich insbesondere für die Erfassung komplexer Objekte in hoch auflösenden Satellitendaten eignen.

Koch et al. (2003) argumentiert in sener Untersuchung, dass durch den objektspezifischen Ansatz die einzelnen Objekte stark generalisiert werden, wodurch eine Kombination mit dem pixelbasierten Verfahren zu einer Verbesserung von Klassifizierung führen kann.

Die Arbeit von Neubert und Meinel (2002) zeigt Anwendungspotenzial des eCognition-Ansatzes in Hinsicht auf automatisierte Flächennutzungskartierungen – in der Untersuchung der Ikonos-Daten und des eCognition-Ansatzes wurde eine Klassifikationsgüte von 90% sowohl im städtischen als auch im ländlichen Untersuchungsgebiet erreicht (die Klassenzugehörigkeit der Testpunkte wurde durch die visuelle Interpretation ermittelt).

Segmentbasierte Biotop- und Nutzungstypenklassifikation anhand von Ikonos-Daten ist auch in der Arbeit von Seiler et al. (2004) beschrieben.

Eine automatisierte Ableitung von Biotoptypen auf Grundlage von HRSC-A-Daten beschreibt die Arbeit von Gähler et al. (2002). In Gähler et al. (2004) wird für eine automatische Biotoptypenklassifikation ein HRSC-AX-Bilddatensatz sowie eine kombinierte Auswertung von HRSC-AX- und Laserscanning-Daten verwendet.

Lang und Langanke (2006) beschreiben weitere Automatisierungsansätze zur Habitat- und Landnutzungskartierung über Zusatzinformation und Objektbeziehungsmodelle. Es wird gezeigt, dass Landschaftsstrukturen entweder durch einen einzigen geeigneten Objektlevel (OLR) oder multiskalare Bildsegmentierung (MSS) erfasst werden können.

In der Arbeit von Ivits und Koch (2002) werden Ergebnisse aus einem objektbasierten Segmentierungs- und Klassifizierungsverfahren von Fernerkundungsdaten auf verschiedenen Skalenebenen zur Erfassung der Landschaft als Grundlage für Biodiversitätsstudien erläutert.

Im Projekt SARA'04 (http://www.lup-umwelt.de/de/site/forsch1_middle.htm) werden die Einsatzmöglichkeiten der QuickBird-Satellitendaten für Fragestellung des FFH-Monitorings untersucht. Ein weiterer Projektschwerpunkt liegt auf Untersuchungen zur Biotoptypen- und Landnutzungsklassifikation.

In Langanke et al. (2004) wird eine objektbasierte Klassifikationsmethode direkt mit einer herkömmlichen Luftbilddauswertung durch einen erfahrenen Interpreten verglichen, wobei die Stärken und Schwächen der beiden Ansätze gegenübergestellt werden.

Auch in Rücker et al. (2005) wurde eine visuelle Interpretation am Bildschirm einer automatischen, objektorientierten Klassifikation gegenüber gestellt. Dabei hat sich ergeben, dass die objektorientierte Klassifikation eine hohe Übereinstimmung mit der visuellen Referenzklassifikation aufweist.

Cruse und Hempel (2005) beschreiben das Herstellen einer Landbedeckung-Karte mit Hilfe von eCognition, die sich als sehr nützlich bei der Standortwahl für die Vegetationsuntersuchung erwiesen hat. Es hat sich gezeigt, dass dieses Software Flexibilität besitzt, die eine Anwendung von nicht-spektralen Daten und Benutzer Kenntnis bei der Segmentation und Klassifikation ermöglicht - die erzeugte vorläufige Landbedeckungskarte wurde unter Verwendung von radiometrischen, topographischen, geologischen und Satelliten Daten erstellt.

In slowenischem Raum wird Einsatz von Fernerkundungsmethoden für die Erfassung von Vegetation seltener behandelt.

Ramšak und Oštir (2002) haben durch die Anwendung von fortschrittlichen Klassifikationsmethoden an Landsat 5 und Landsat 7 - Satellitendaten die Landesbedeckung von Karst - Gebiet erfasst.

Skumavec (2002) hat eine Test-Klassifikation von QuickBird-Satellitendaten mit Erdas – Software durchgeführt und verschiedene Tehniken für eine Verbesserung der Klassifikation vorgestellt.

3 LÖSUNGSANSATZ

3.1 THEORIEANSATZ

Satellitensensoren messen die Reflexion der Geländeoberfläche und der auf ihr befindlichen Objekte, die sich gegenüber der auftreffenden Strahlung sehr unterschiedlich verhalten. Eine Vielfalt an Reflexionseigenschaften der Objekte kommt vor allem wegen dem unterschiedlichen Material, seinem physikalischen Zustand (z.B. Feuchtigkeit), der Oberflächenrauigkeit und den geometrischen Verhältnissen (Einfallswinkel der Sonnenstrahlung, Beobachtungsrichtung) zustande (Albertz, 2001). Durch Satellitensensoren gemessene Informationen über Reflexionseigenschaften werden in einer Rasterform abgelegt, wobei ein Pixel die kleinste Einheit und dadurch den Hauptträger der Information darstellt (Werner, 2004).

Die ersten Klassifikationsansätze der Satellitendaten, die in den 70er Jahren gelegt wurden, stellen Pixel-basierte Verfahren dar, wo einzelne Pixel analysiert und allein aufgrund ihrer spektralen Eigenschaften in Klassen sortiert werden (Blaschke, 2000).

Eine Verbesserung der räumlichen Auflösung der neuen Sensoren kann zu einer Erhöhung der internen Variabilität bzw. des Rauschens innerhalb von einzelnen Klassen führen (Schiewe, Tufte, 2002). Eine Folge sind die unbefriedigenden Ergebnisse der pixel-basierten Klassifikationsansätze, wie z.B. unkorrekte Erkennung von Objektgrenzen oder Ausweisen von Fehlklassen innerhalb eines Objektes (sog. „salt and pepper“-Effekt) (Werner, 2004). Blaschke und Strobl (2001) argumentieren, dass bei Pixel-basierten Verfahren die individuelle Pixel im mehrdimensionalen Spektralraum klassifiziert werden, ohne irgendwelche räumliche Konzepte zu berücksichtigen. Pixelbasierte Verfahren verlaufen also rein statistisch und nutzen nicht die räumliche Dimension von Information. Wesentlich naheliegender zu der Wahrnehmung der realen Welt ist die Annahme, dass ein Pixel mit einer hohen Wahrscheinlichkeit die gleiche Klassenzugehörigkeit hat wie sein Nachbapixel (*Tobler's first law of geography*) (Blaschke, 2000). Deswegen argumentieren Blaschke und Strobl (2001) für Klassifikationsansätze homogener Gruppen von Pixeln, die realweltlichen Objekten entsprechen.

Neue Lösungsansätze, die auf der Abgrenzung homogener Objekte als Basis für die weitere Bearbeitung setzen, haben einen grossen Umbruch in der digitalen Bearbeitung von Fernerkundungsdaten verursacht (Blaschke, 2002).

Bei diesen objektbasierten Verfahren werden die Satellitendaten zuerst in homogene Regionen, bestehend aus ähnlichen Pixel, segmentiert. Die Zuordnung der Segmente (Objekte) zu einzelnen Klassen basiert auf deren Spektralverhalten, Textur und Gestalt sowie Nachbarschaftbeziehungen zwischen Bildelementen (Blaschke, 2000).

Besonders im Bereich der Landschaftsanalyse hat sich gezeigt, dass ein integrierter Ansatz vom ökologischem Wissen und einer objektorientierten Bildanalyse für die Verarbeitung landschaftsökologischen Fragestellungen notwendig ist, weswegen in den letzten Jahren verstärkt auf einer Entwicklung von Verfahren zur automatisierten und wissensbasierten Analyse von Fernerkundungsdaten gearbeitet wird (Kaiser et al., 2004).

3.2 METHODEN

Die Firma Definiens AG bietet seit Ende 2000 mit Definiens Professional (früher eCognition) eine Bildverarbeitungssoftware an, welche einen objektorientierten Klassifikationsansatz unterstützt. Bei dieser Verarbeitung wird zunächst eine Segmentierung der Daten durchgeführt, wobei homogene Flächen aufgrund von Bildeigenschaften wie Grauwert, Textur und Form zu Bildsegmenten zusammengefasst werden. Die Segmentierung kann in mehreren Ebenen stattfinden und ein semantisches Netzwerk von Bildsegmenten wird gebildet. Dadurch werden die Relationen zu benachbarten, unter- oder übergeordneten Bildsegmenten geformt, die neben den Grauwertinformationen und Formeigenschaften in der Klassifikation verwendet werden können (Meinel et al., 2001).

Durch die Segmentierung gebildete Objekte stellen die Grundlage für die eigentliche Klassifikation dar, die entweder über auf *Fuzzy Logic* basierte Zugehörigkeitsfunktionen oder durch die Auswahl von Beispielflächen (*Nearest Neighbor*-Klassifikator) erfolgen kann.

3.2.1 Segmentierung

Als erster Bearbeitungsschritt mit Definiens Professional erfolgt eine Segmentierung der Bilddaten in homogene Areale.

Der in Definiens Professional implementierte Segmentierungsalgorithmus vereinigt benachbarte Pixel mit ähnlichen Grauwerten zu Objekten (Segmenten). Die Grösse der segmentierten Objekte, die sich nach den Eigenschaften der Klassen richten sollte, lässt sich durch den Skalefaktor (*Scale Parameter*) steuern. Die Optimierung der Segmentierung erfolgt durch die Wahl einer geeigneten Parameterkonstellation (*Scale Parameter* und *Composition of Homogeneity Criterion*), die aber für jede Szene iterativ neu evaluiert werden muss (»*trial and error*« - Prinzip) (Lothar, Werner, 2004).

Bei Landschaften mit Strukturen stark unterschiedlicher Grösse kann die Segmentierung auf unterschiedlichen Skalenebenen („*levels*“) durchgeführt werden, um die optimale Auflösung der Objekte zu erzielen (Werner, 2004).

Neben Spektraldaten können zusätzliche thematische Layer in den Segmentierungsprozess integriert werden, wie z.B. Strassen- und Wegenetz, um Objektextraktion zu verbessern.

3.2.2 Klassifikation

In Definiens Professional stehen zwei Klassifizierungsverfahren zur Verfügung – *Nearest Neighbor*-Klassifikation und Klassifikation nach auf *Fuzzy Logic* basierende Zugehörigkeitsfunktionen (*Membership Functions*).

3.2.2.1 Nearest Neighbor

»*Nearest Neighbor*« Klassifikator stellt eine Lösung für eine schnelle und einfache Klassifikation von Bildobjekte auf der Basis von angegebenen Beispielflächen innerhalb von definierten mehrdimensionalen Merkmalsraum (*Feature Space*) (Definiens Professional 5 – User Guide, 2006). Nach Erklären von Beispielflächen für jede Klasse, werden Objekte anhand der Euklidischen Distanz der einen oder anderen Klasse im Merkmalsraum zugeordnet.

Definiens unterscheidet zwei Formen von *Nearest Neighbor* Klassifikator: *Nearest Neighbor* und *Standard Nearest Neighbor*. Hauptunterschied zwischen beiden Formen besteht in dem, dass *Nearest Neighbor* Merkmalsraum unabhängig für jede einzelne Klasse definiert werden kann (Definiens Professional 5 – User Guide, 2006). Im Gegensatz zu *Nearest Neighbor*, gilt Merkmalsraum bei *Standard Nearest Neighbor* für das ganze Projekt und alle Klassen, was sich als nützlich erwies, da in vielen Fällen eine Trennung von Klassen nur innerhalb von gleichem Merkmalsraum sinnvoll ist (Definiens Professional 5 – User Guide, 2006).

3.2.2.2 Fuzzy - Klassifikation

Fuzzy-Logik-Verfahren erlaubt vielfältige und komplexe Merkmalsbeschreibungen. Mittels sogenannter Zugehörigkeitsfunktionen (*Membership Functions*) wird ein Regelwerk formuliert (Blaschke et al., 2002).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit war das Ziel, eine einfache und schnelle Klassifikationsmethode zu testen, die leicht auf unterschiedlichen Szenen angewendet werden kann. Die Grauwertebereiche der Klassen, die eine genaue Klassifikation durch den *Fuzzy*-Logik-Ansatz erlauben, sind von vielen Faktoren abhängig (z.B. Aufnahmezeitpunkt, atmosphärische Störungen, Vegetationsperiode) und durch deren Änderung ist die Genauigkeit der Klassifikation nicht mehr gewährleistet.

Deshalb wurde in dieser Arbeit »Standard Nearest Neighbor« Klassifikator angewandt.

3.3 TESTGEBIET/ -DATENSATZ

3.3.1 Untersuchungsgebiet

Naturpark Goričko ist die nordöstlichste Region Sloweniens, für die eine traditionelle Landwirtschaft charakteristisch ist, die eine Vielzahl an naturnaher und natürlicher Habitattypen zur Folge hat. Innerhalb von Vegetationsperioden von 2002 bis 2005 wurde im gesamten Naturpark eine Habitattypenerfassung (ausgenommen Waldvegetation) innerhalb eines Phare-Projektes durchgeführt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Methodik zur Erfassung von Habitattypen auf Basis von Definiens Professional 5.0 auf einem Testgebiet mit 2x2 km² Ausdehnung erprobt, der Bestandteil des Naturparks Goričko ist. Dabei wurde ein Testgebiet gewählt, das durch einen Gradient von intensiver zu extensiver Nutzung charakterisiert ist und enthält so anthropogene wie auch natürliche Habitattypen.

3.3.2 Datengrundlagen

3.3.2.1 QuickBird Satellitendaten

Ziel dieser Arbeit ist die Verarbeitung und Analyse eines geometrisch hochauflösenden Satellitenbildes. Dafür wurde ein Ausschnitt aus einer QuickBird – Archivszene vom 21.5.2005 bestellt.

Die Technische Daten von QuickBird – Satellitensystem sind in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 1: Technische Daten von QuickBird – Satellitensensor

Unternehmen	<i>DigitalGlobe</i>	
System	<i>QuickBird 2</i>	
Start	<i>18.10.2001</i>	
Flughöhe	<i>polarumlaufend in 450 km Höhe</i>	
Bahnneigung	<i>97,2° , sonnensynchron</i>	
Streifenbreite	<i>16,5 km</i>	
Wiederholrate	<i>3,5 Tage</i>	
Sensor	<i>Panchromatischer Sensor</i>	<i>Multispektral Sensor mit 4 Kanälen von 450 - 900 nm</i>
Wellenlängenbereich (nm)	<i>450 – 900</i>	<i>Blau: 450 – 520</i> <i>Grün: 520 – 600</i> <i>Rot: 630 – 690</i> <i>NIR: 760 – 900</i>
räumliche Auflösung	<i>0,61 m (bei Nadir)</i>	<i>2,44 m (bei Nadir)</i>

(Bezugsquelle: <http://www.eurimage.com>)

Von der Umweltdata Ges.m.b.H. wurde folgende Vorverarbeitung der Satellitendaten durchgeführt:

- Die Daten wurden radiometrisch und geometrisch korrigiert.
- Es wurden orthorektifizierte Satellitendaten anhand der RPC Dateien von QuickBird erstellt. Die Lagegenauigkeit, die je nach verwendetem Höhenmodell und Kontrollpunkten (*Ground Control Points* – GCP) variiert, liegt zwischen 1 – 2 Metern (RMS-Error).

- Es wurde Pansharpening Algorithmus zur Zusammenführung des panchromatischen und des multispektralen Kanals durchführt, um den Detailgehalt der panchromatischen 0,6-m-Daten mit den multispektralen 2,4-m-Daten zu kombinieren.

Die Bildqualität der QuickBird-Archivszene vom 21.5.2005 ist sehr gut, da keine Bewölkung vorliegt.

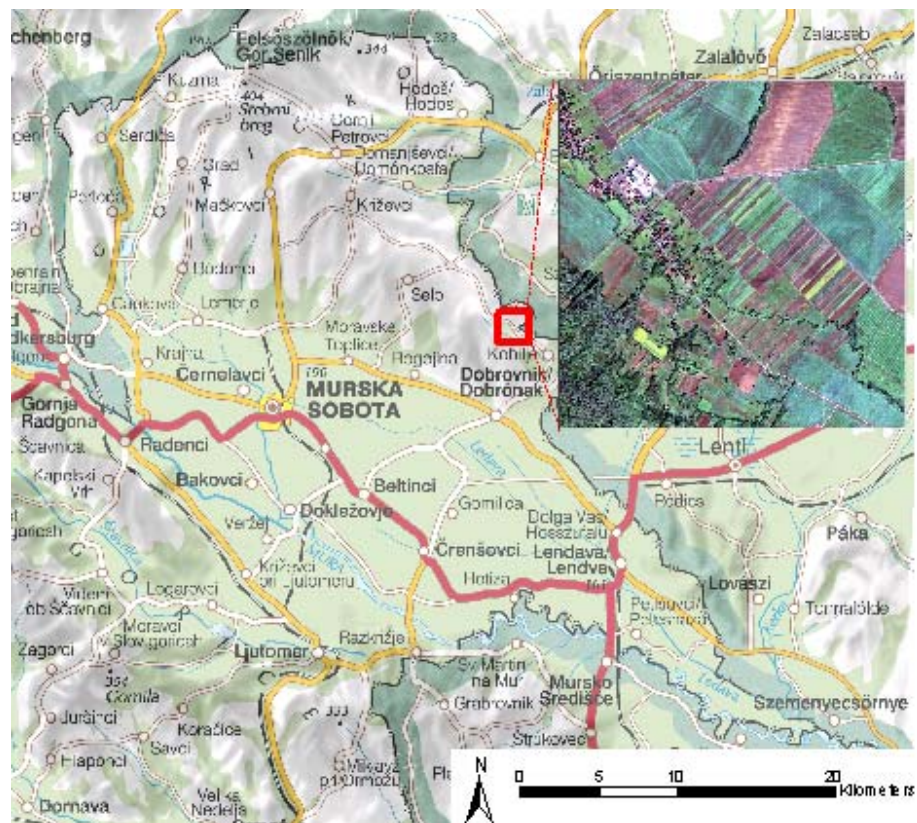


Abbildung 1: Lage vom Testgebiet sowie der verwendete QuickBird-Bildausschnitt.

3.3.2.2 Habitattypenkartierung

Die Habitattypenkartierung von Naturpark Goričko stellt einer der Datengrundlagen dieser Arbeit dar.

Als Basis für die terrestrische Habitattypen-Kartierung dient ein vom slowenischen Ministerium für Umwelt und Raum für das gesamte Slowenien entwickelter Habitattypen-Kartierschlüssel. Die Kartierung von Naturpark Goričko erfolgte auf der Grundlage von

schwarz-weißen Orthophotos des Maßstabes 1:5.000. Die im Freiland definierten Habitattypen wurden laufend in Orthophotos abgegrenzt, mit einer Kode definiert und anschliessend digitalisiert. Die Bestimmung von meisten Habitattypen basiert an der Vegetation (Pflanzengesellschaften), nur wenige sind definiert durch Nutzung oder durch physiognomische Merkmale, z.B. Äcker, Strassen, Eisenbahn. Einzelne Habitattypen werden aufgrund von physiognomischen Aussehen zu Sammeltypen vereinigt (z.B. Waldflächen, Wasserflächen, extensive Nasswiesen).

Im ausgewählten Testgebiet wurden in Geländekartierung 72 unterschiedliche Habitattypen ausgewiesen, die nach physiognomischen Eigenschaften zu 14 Sammeltypen zusammengefasst wurden.

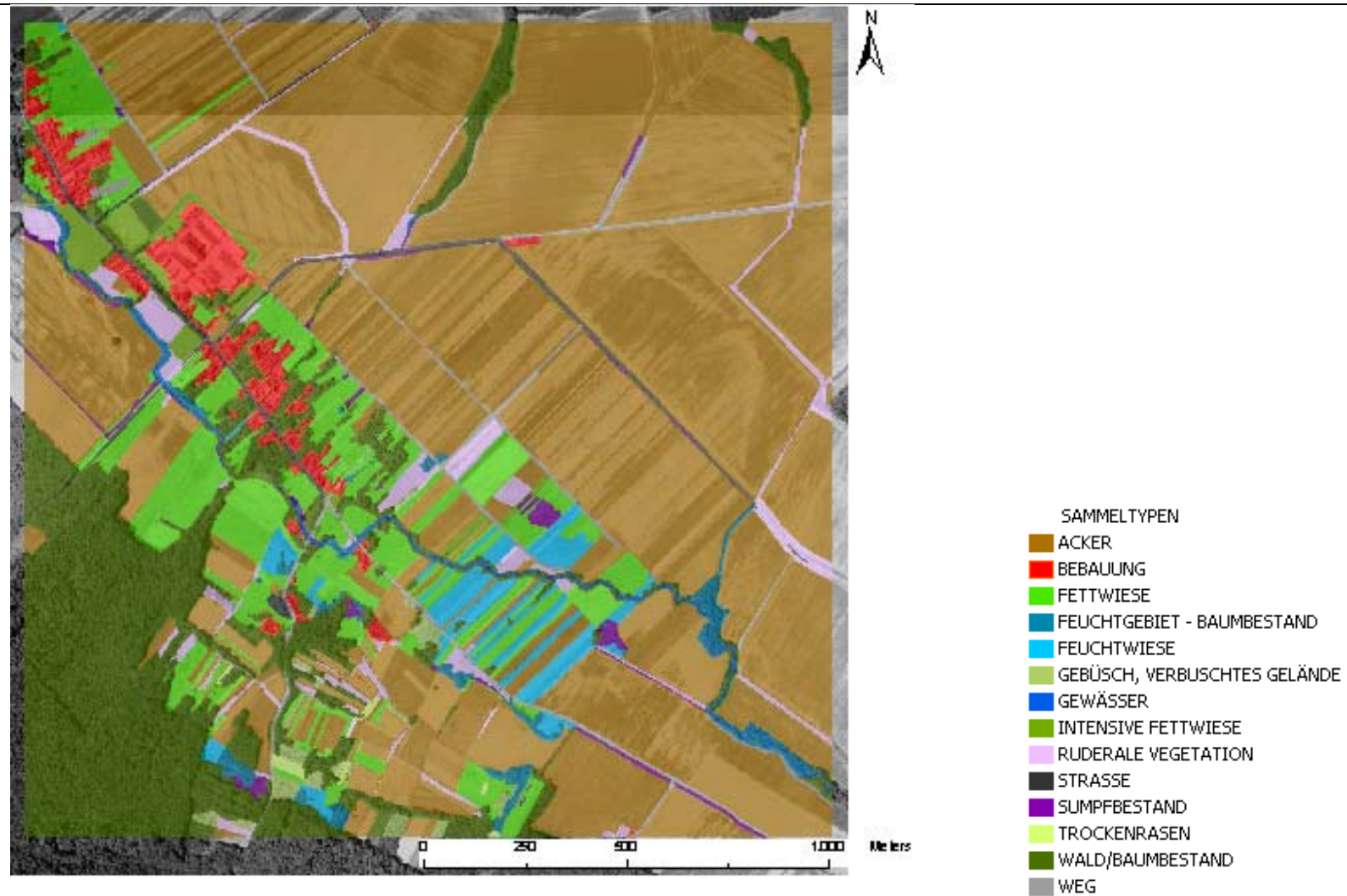


Abbildung 2: Ergebnis der Habitattypen-Geländekartierung in Form von Sammeltypen

4 BESCHREIBUNG

Bei der Auswahl von Methodik wird davon ausgegangen, dass sich innerhalb des bearbeitenden Satellitenbildes ein Teilgebiet mit bekannter Geländekartierung befindet. Die Ergebnisse dieser Kartierung dienen als Orientierungshilfe bei der Optimierung der Segmentierungsparameter und werden für die Auswahl der Trainingsgebiete in der anschließenden Klassifikation angewendet.

4.1 SEGMENTIERUNG

Segmentierung wird mit Definiens Professional 5.0 durchgeführt. Eingangsdaten sind Pansharpened QuickBird Daten - RGB, NIR, PAN, mit einer Auflösung 0,6 m. Als Segmentation mode wird *Multiresolution Segmentation* verwendet.

Segmentierung soll die zu klassifizierenden Objekte abgrenzen. Durch Verwendung geeigneter Segmentierungsparameter zur Erzeugung von Bildobjekten kann die Auflösung der erzeugten Objekte (Objektgröße) an die gezielte Fragestellung angepasst werden.

Zur Auswahl von Segmentierungsparametern werden verschiedene Tests durchgeführt, um optimale Ergebnisse zu erzielen.

Im vorliegenden Fall wird eine Kombination mehrerer Segmentierungsgrößen nötig, da das Testgebiet durch heterogen strukturierte Einheiten charakterisiert ist, wodurch es nicht möglich ist, ein einziges Level mit geeignetem Detailniveau zu finden.

Die Segmentierung erfolgte in vier Ebenen. Die verwendeten Segmentierungsparameter sind in der Tabelle 2 dargestellt.

In den ersten zwei Ebenen werden spektrale Eigenschaften stärker betont, in den nächsten Ebenen wurden dagegen bessere Ergebnisse durch die Betonung der Form (Shape) erreicht.

Tabelle 2: Verwendete Parameterkonstellation

Level	Scale parameter	Color/Shape	Compactness/ Smoothness	Anzahl der segmentierten Bildobjekte
1	30	0,9/0,1	0,5/0,5	32235
2	50	0,9/0,1	0,5/0,5	12950
3	100	0,7/0,3	0,5/0,5	3479
4	150	0,7/0,3	0,5/0,5	1668

Die Ergebnisse der vier stufigen Segmentierung werden in einem Bildausschnitt des Testgebietes in Abbildung 3 veranschaulicht.

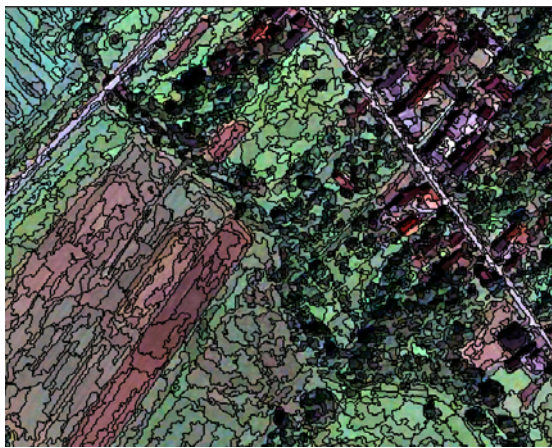
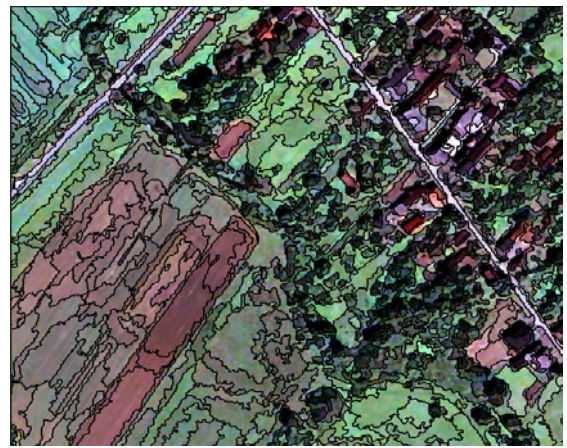
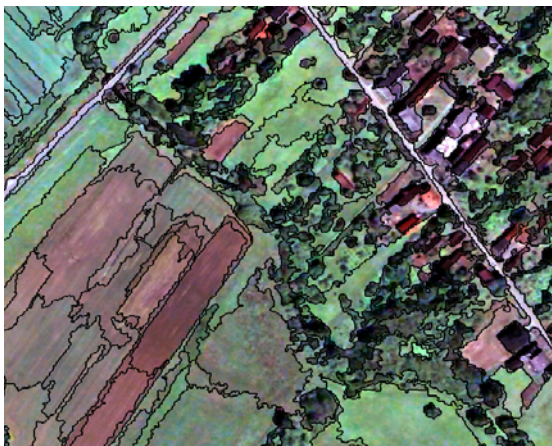
Segmentierungsebene 1 (*Scale Parameter 30*)Segmentierungsebene 2 (*Scale Parameter 50*)Segmentierungsebene 3 (*Scale Parameter 100*)Segmentierungsebene 4 (*Scale Parameter 150*)

Abbildung 3: Hierarchische Segmentierung in einem Bildausschnitt des Testgebietes

4.2 KLASSIFIKATION

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein *Standard Nearest Neighbor* Klassifikationsverfahren getestet.

4.2.1 Definition von Merkmalsraum

Zuerst wird ein Merkmalsraum (*Feature Space*) definiert in dem die Eigenschaften der segmentierten Objekte festgelegt werden. Es werden folgende Objektmerkmale berechnet und in die Klassifikation einbezogen:

- Vegetationsindex (NDVI) wird als neues arithmetisches Merkmal in *Customized Object Features* nach Formel $([\text{Mean nir}] - [\text{Mean red}]) / ([\text{Mean nir}] + [\text{Mean red}])$ berechnet.
- Für den jeweiligen Kanal wird Mittelwert einbezogen.
- Es werden *Brightness* und *Max. diff.* einbezogen.
- Für den jeweiligen Kanal wird Standardabweichung berechnet.

Das Programm berechnet auch für alle Objekte die Textur nach *Haralick*, es wird aber auf den Einsatz dieser Textur-Eigenschaft verzichtet, da schon bei Scale Parameter 150 die Rechenzeiten beträchtlich waren.

Der Auswahl von Objektmerkmale erfolgte mittels von *Feature View*, wo jedem Objekt ein Grauwert je nach seinem Merkmalswert zugewiesen wird. Als Beispiel werden in Abbildung 4 NDVI-Werte einzelner Objekte auf Level 3 dargestellt. Das berechnete NDVI dient vor allem zur Trennung von vegetationsbedeckten und vegetationslosen Flächen in der Klassifikation.

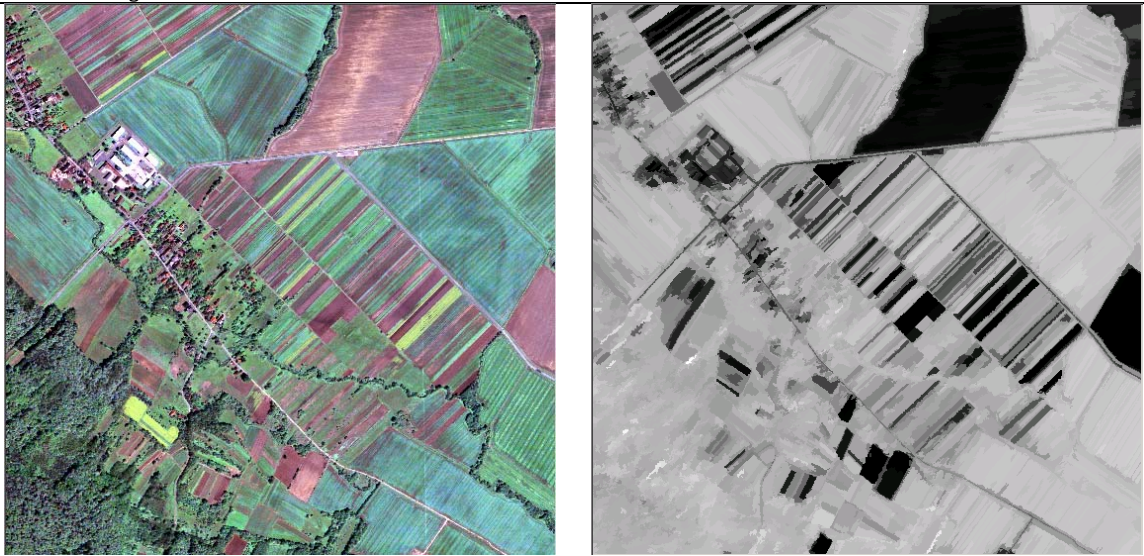


Abbildung 4: RGB-Bild (links) und NDVI-Bild (rechts; Level 3, Scale Parameter 100) des analysierten Testgebietes. Hell = hoher NDVI, dunkel = niedriger NDVI

4.2.2 Klassenhierarchie

Das Klassifikationsschema basiert auf dem Prinzip der Habitattypen-Typologiesystem. Die Habitattypen-Sammeltypen können zu Hauptgruppen zusammengefasst werden. Diese Habitattyp- Hauptgruppen dienen als eine gute Orientierung für den Auswahl der Flächen für eine Detailkartierung, deswegen stellen sie die eigentlichen Zielklassen der Klassifikation dar.

Die einzelnen Klassen sind wie folgt definiert:

- Klasse Wald/Baumbestand: umfasst von Einzelbäume bis zu grossflächigem Waldbestand.
- Klasse Ackerfläche - vegetationsbedeckt.
- Klasse Ackerfläche - vegetationslos.
- Klasse Grünland: umfasst Fettwiese, Feuchtwiese, Intensive Fettwiese, Ruderale Vegetation, Sumpfbestand, Trockenrasen.
- Klasse Siedlung: umfasst Strassen, Wege und Bebauung.

Die Klasse Acker wird wegen deutlich verschiedenen spektralen Eigenschaften in Form von zwei verschiedenen Klassen angelegt.

Sehr variable Objektgrösse von Strukturen im Testgebiet bedingt eine Klassifikation der Klassen auf allen Levels und dadurch auch eine Anlage der Klassen auf allen Levels (Abbildung 5).



Abbildung 5: Die Anlage der Klassen in verschiedenen Segmentierungsebenen.

4.2.3 Trainingsgebiete bzw. Beispielflächen

Mit Hilfe von *Sample Editor* und *Sample Selection Information* werden zu jeder Klasse die Trainingsgebiete bzw. Beispielflächen zugewiesen (Abbildung 6).

Als Basis für die Auswahl von Trainingsgebiete diente in Abbildung 7 dargestellte kartierte Teilbereich.

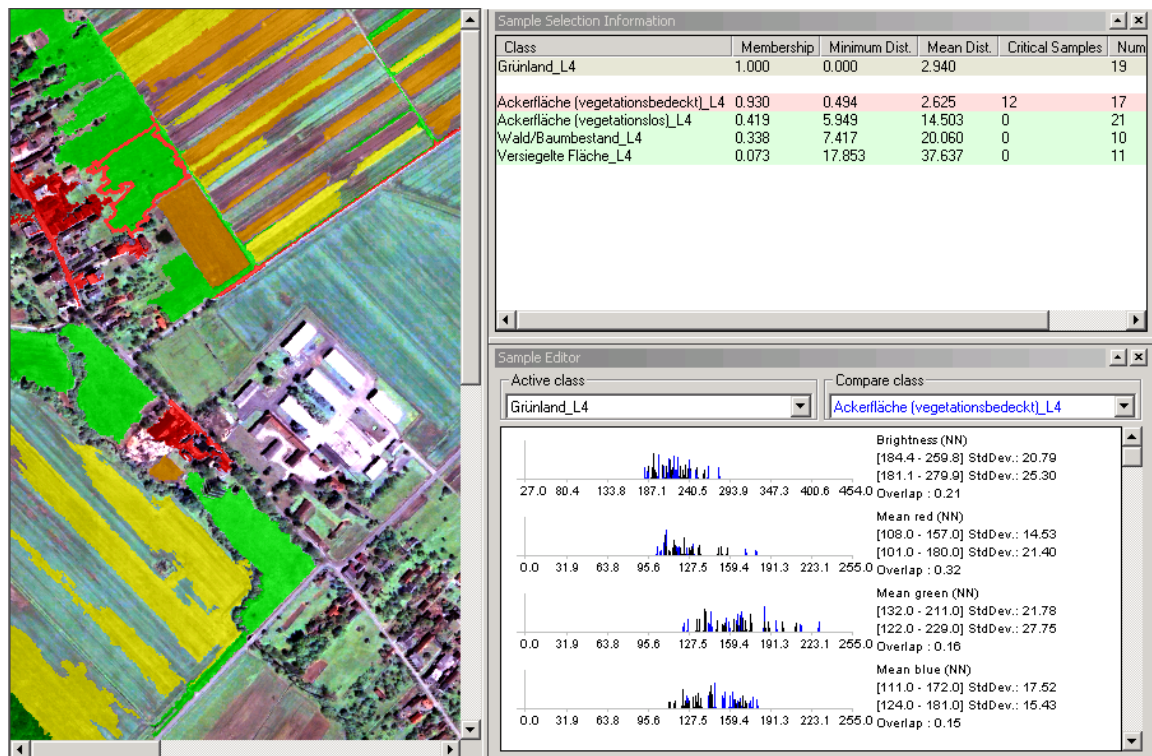


Abbildung 6: Zuweisung von Beispielflächen zu den definierten Klassen.

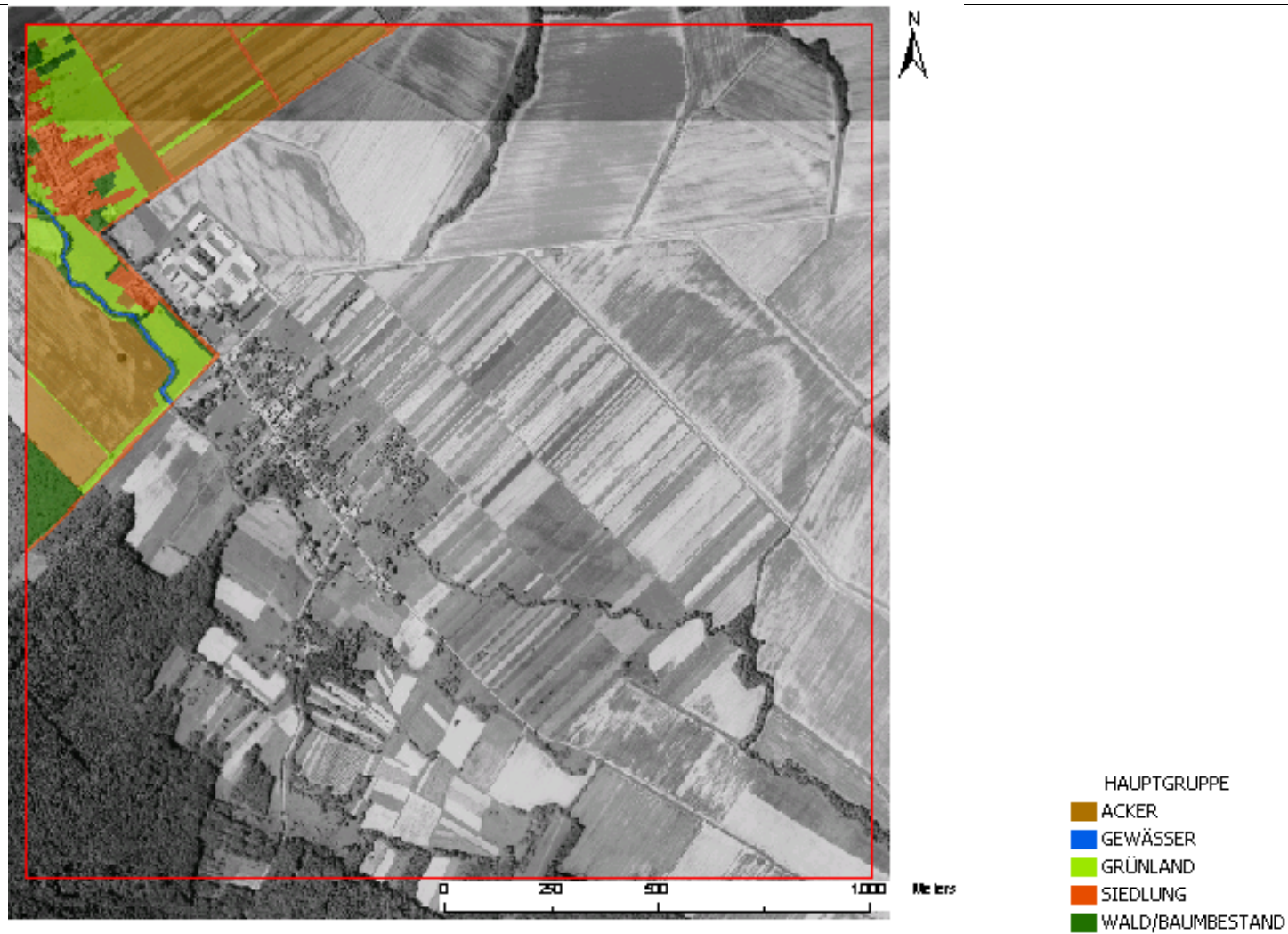


Abbildung 7: Testgebiet mit kartiertem Teilbereich, der als Basis für die Auswahl von Trainingsgebiete diente.

4.2.4 Klassifikation

Das hier beschriebene Klassifikationsverfahren erfolgt von Level 4 bis Level 1, also in einem »Top down« Ansatz.

Klassifikationsergebnisse, die auf der feineren Ebene abgeleitet werden, können in größeren Ebene über die Analyse des relativen Flächenanteils klassifizierter Unterobjekte (*Class-Related Features*) einfach übernommen werden. Klassifikationsergebnisse der größeren Ebene können dagegen über die Analyse des Vorhandensein klassifizierter Oberobjekte (*Class-Related Features*) in die feinere Segmentierungsebenen eingefügt werden.

Über dieses schrittweise Verlinken können alle relevanten Klassen auf einer Ebene eingesetzt werden, die dann die entgültige Klassifikation repräsentiert.

Um eine optimale Abgrenzung der Klassen zu erzielen, werden zuerst die Klassen in allen Segmentierungsebenen über einen nicht-hierarchischen Ansatz klassifiziert.

Danach wird noch ein hierarchischer Klassifikationsansatz angewandt.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Anlage der Klassifikation zum Export auf dem Level 3 durchgeführt.

4.2.5 Genauigkeitsanalyse

Die Klassifikationsgenauigkeit wird durch den visuellen Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit den Ergebnissen der Geländekartierung ermittelt. Der Vergleich erfolgt an der Basis von generierten Testpunkte, die durch einen Random Points Tool (<http://arcsripts.esri.com/details.asp?dbid=10955>) erzeugt werden.

5 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

5.1 SEGMENTIERUNG

Der ausgewählte Szene-Ausschnitt vereint sowohl sehr kleinteilige als auch sehr großflächige Strukturen. Diese unterschiedliche Strukturierung verlangt Entwicklung einer Hierarchie, die maximale Klassifikationsgenauigkeit für alle Strukturen gewährleistet.

Diese Hierarchie der Objekte wird durch Segmentierung in einem »bottom-up« Verfahren erstellt, die in vier Ebenen erfolgte, wobei zwischen verschiedenen Ebenen und deren Objekten ein semantisches Netzwerk gebildet wird. Untere Ebenen enthalten kleine Objekte, wie Einzelbäume oder Teile von Häusern, Wege, Wiesen. Diese Objekte sind dann wiederum in Segmenten der höheren Ebenen enthalten - die grösseren Segmente behalten dabei die Objektgrenzen der kleineren Bildobjekte. Im groben Segmentierungsniveau werden grosse Flächen wie Acker, Wiesen und Baumgruppen abgegrenzt.

Während des Segmentierungsprozesses haben sich auch einige Schwächen der Segmentierung bemerkbar gemacht.

Segmentierung stellt ein subjektiver Verfahren, wo über die subjektive Wahrnehmung des Bearbeiters die iterative Auswahl eines Scalefaktors erfolgt. Dadurch wird die Übertragbarkeit des Verfahrens einschränkt.

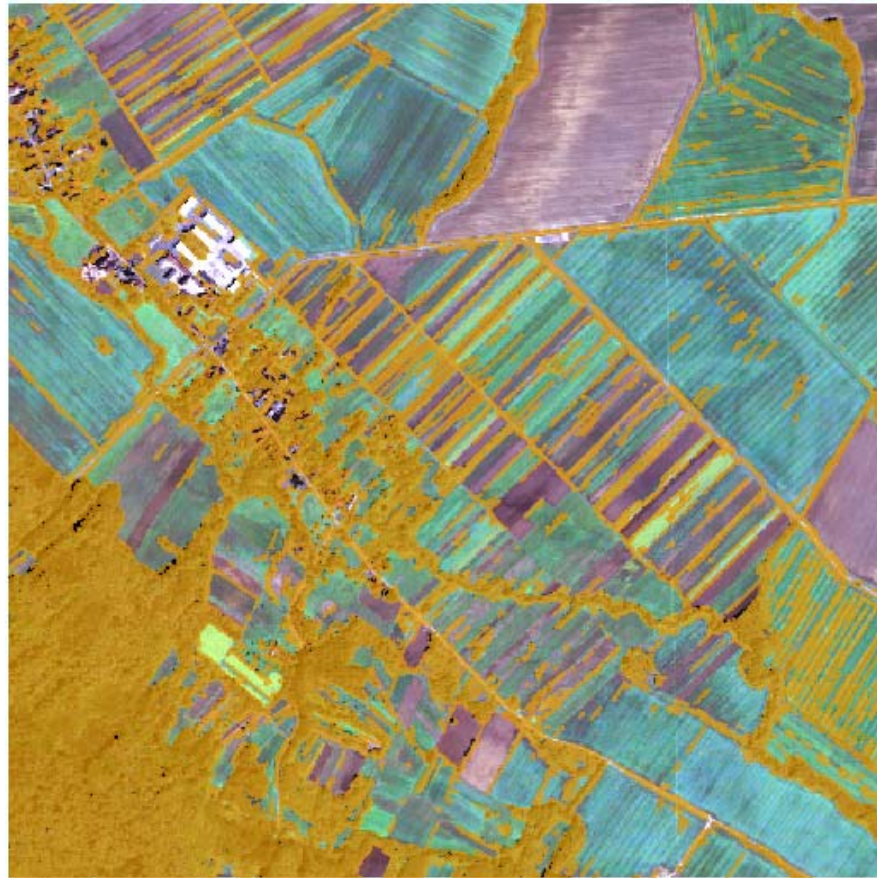
Wie schon Ivits und Koch (2002) argumentieren, ist eine der Folgen der Bildung von homogenen Objekten auch Generalisierung. Einerseits werden die Objekte dadurch näher der menschlichen Wahrnehmung der „realen“ Welt, andererseits wird aber für die Biodiversität wichtige Heterogenität einzelner Habitats verdeckt (Koch et al., 2003).

5.2 KLASSIFIKATION

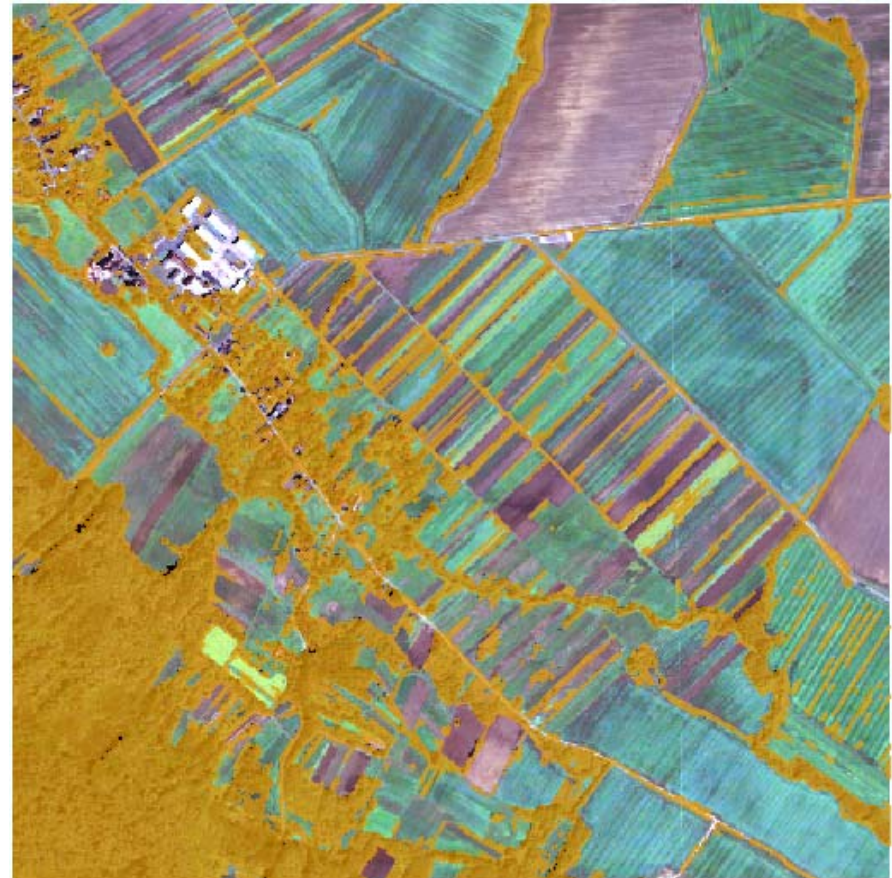
Hauptziel dieser Arbeit war die Untersuchung des operationellen Einsatzes von *Standard Nearest Neighbor* Klassifikator zur Erfassung von Habitattyp-Hauptgruppen am Beispiel der QuickBird- Satellitendaten und vorhandener Teilkartierung.

5.2.1 Nichthierarchische Klassifikation*Klasse Wald/Baumbestand*

Die Hauptklasse Wald/Baumbestand enthält Einzelbäume und Baumgruppen sowie den grossflächigen Waldbestand. Klassifikationsergebnisse der Klasse auf einzelner Segmentierungsebenen sind in Abbildungen 8a und 8b dargestellt.

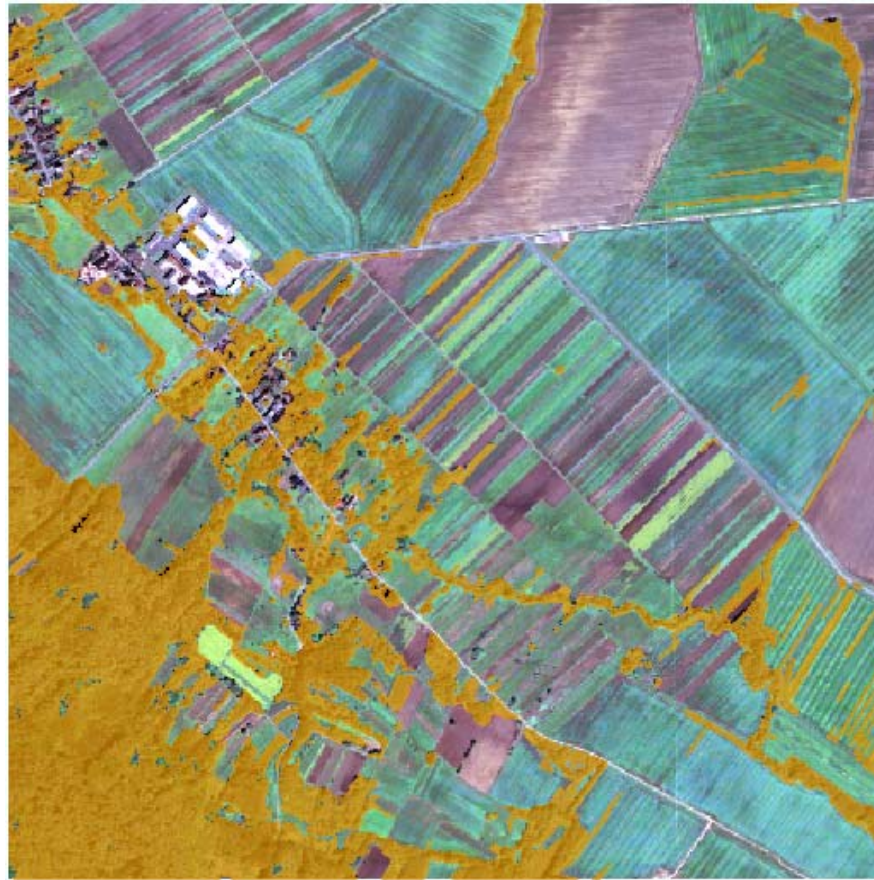


Segmentierungsebene 1 (*Scale Parameter 30*)

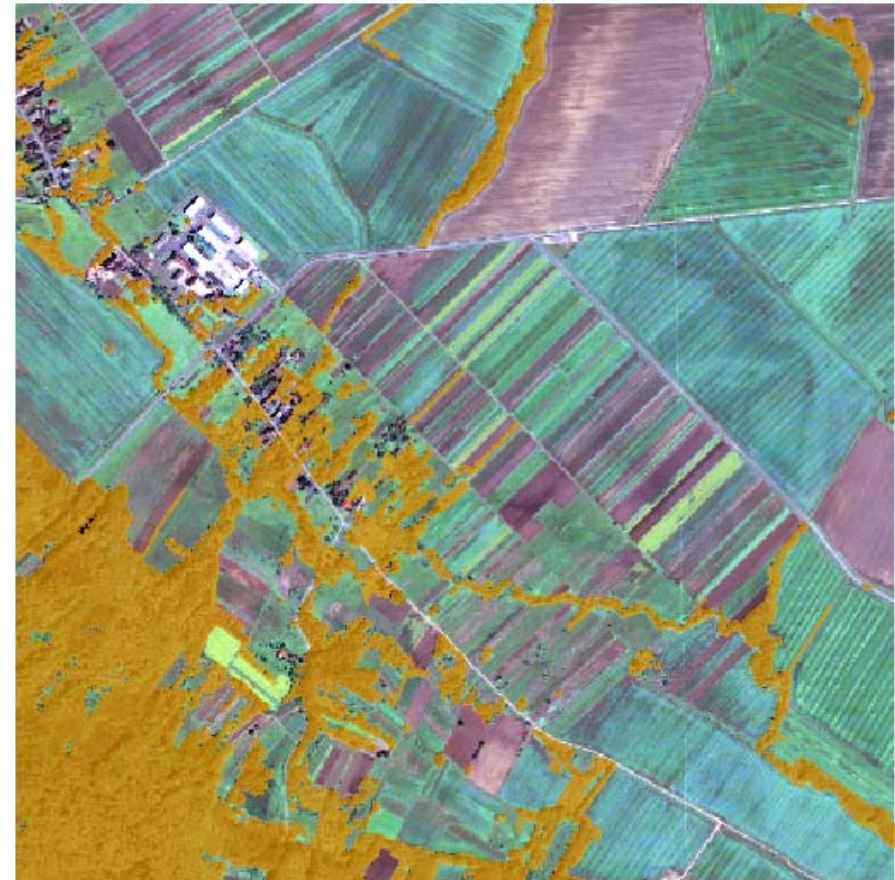


Segmentierungsebene 2 (*Scale Parameter 50*)

Abbildung 8a: Klassifikationsergebnisse der Klasse Wald/Baumbestand auf einzelner Segmentierungsebenen



Segmentierungsebene 3 (*Scale Parameter 100*)



Segmentierungsebene 4 (*Scale Parameter 150*)

Abbildung 8b: Klassifikationsergebnisse der Klasse Wald/Baumbestand auf einzelner Segmentierungsebenen

Durch den Vergleich der Klassifikationsergebnisse auf einzelner Ebenen hat sich gezeigt, dass sich die spektrale Charakteristika der Klasse Wald/Baumbestand mit Verfeinerung der Segmentierung immer stärker mit vegetationsbedeckten Ackerflächen überschneiden, wodurch es zu eine Zunahme an Klassifikationsfehler kommt.

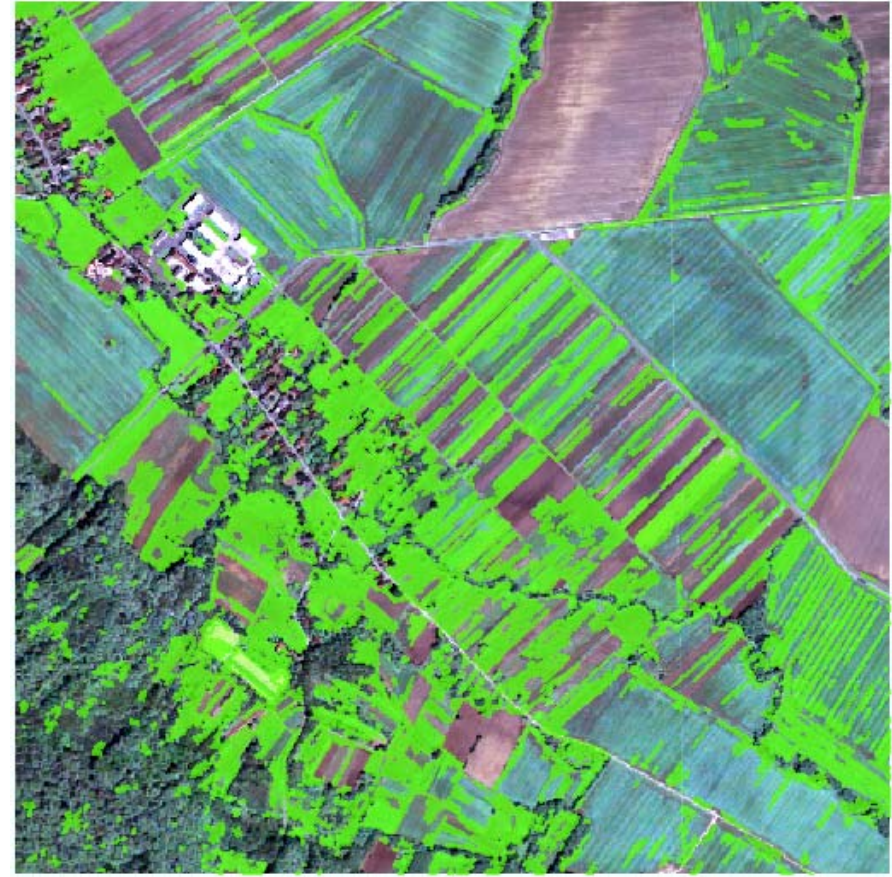
Beim visuellen Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit den Ergebnissen der Geländekartierung hat sich gezeigt, das die ausklassifizierte Klasse Wald/Baumbestand auf Level 4 am besten die reale Situation wiedergibt.

Klasse Grünland

Die Abtrennung der Klasse Grünland wird durch eine Überlappung mit spektralen Eigenschaften der vegetationsbedeckten Ackerflächen erschwert. Dadurch verursachte Klassifikationsfehler treten besonders häufig auf feineren Segmentierungsebene auf.

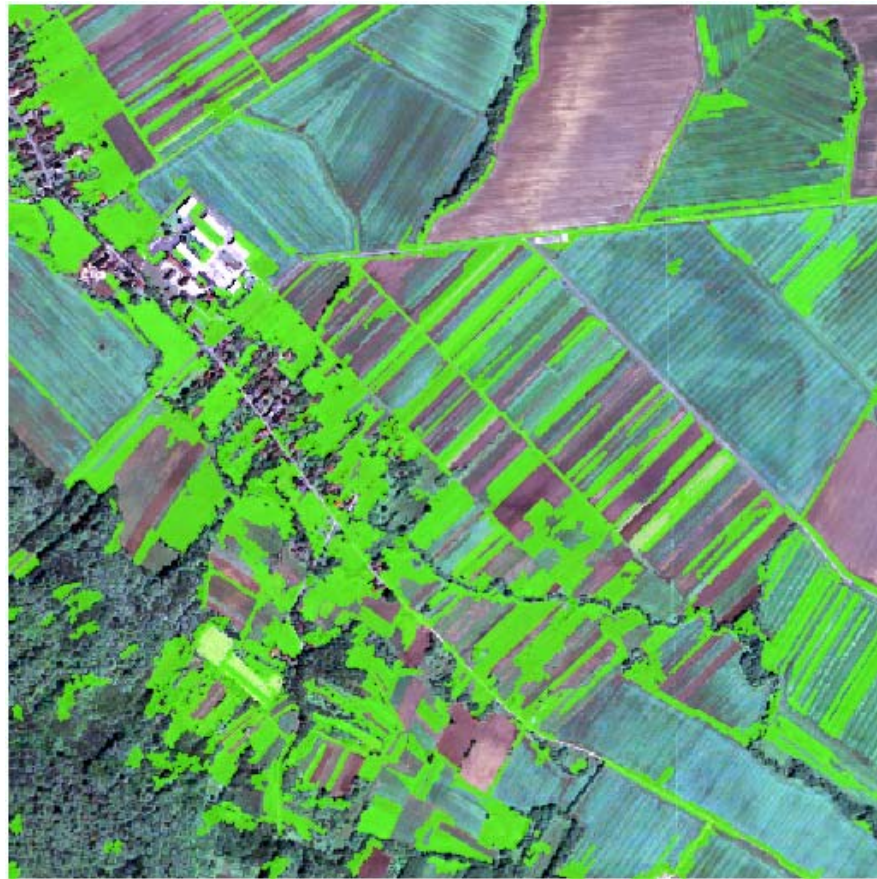


Segmentierungsebene 1 (*Scale Parameter 30*)

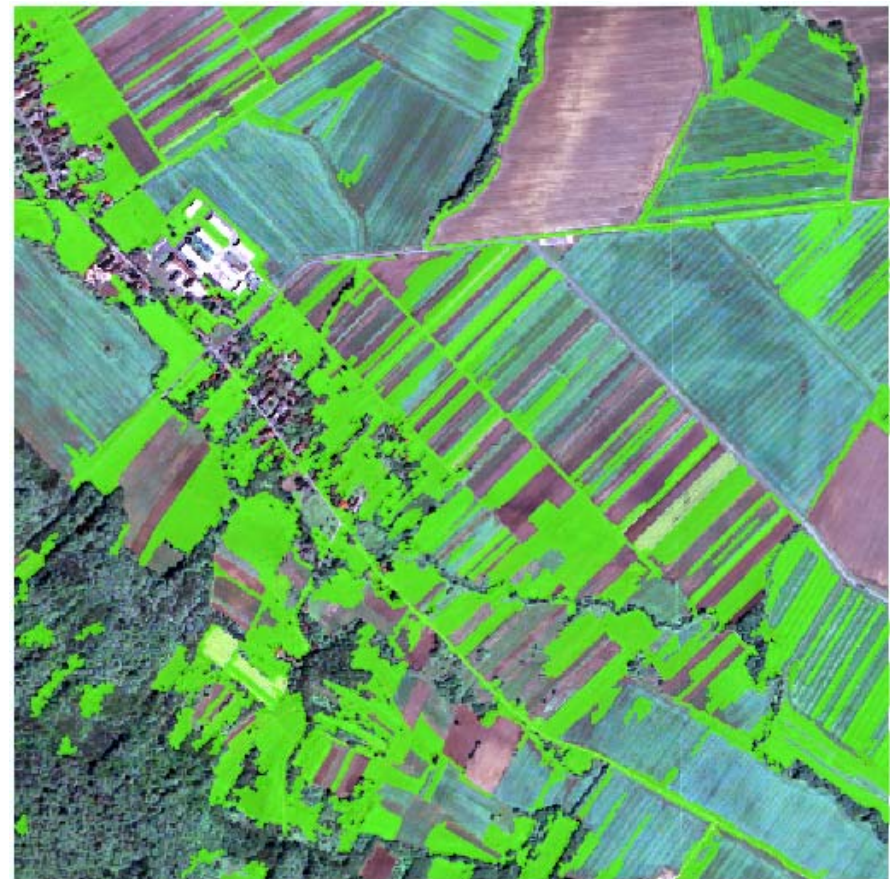


Segmentierungsebene 2 (*Scale Parameter 50*)

Abbildung 9a: Klassifikationsergebnisse der Klasse Grünland auf einzelner Segmentierungsebenen



Segmentierungsebene 3 (*Scale Parameter 100*)

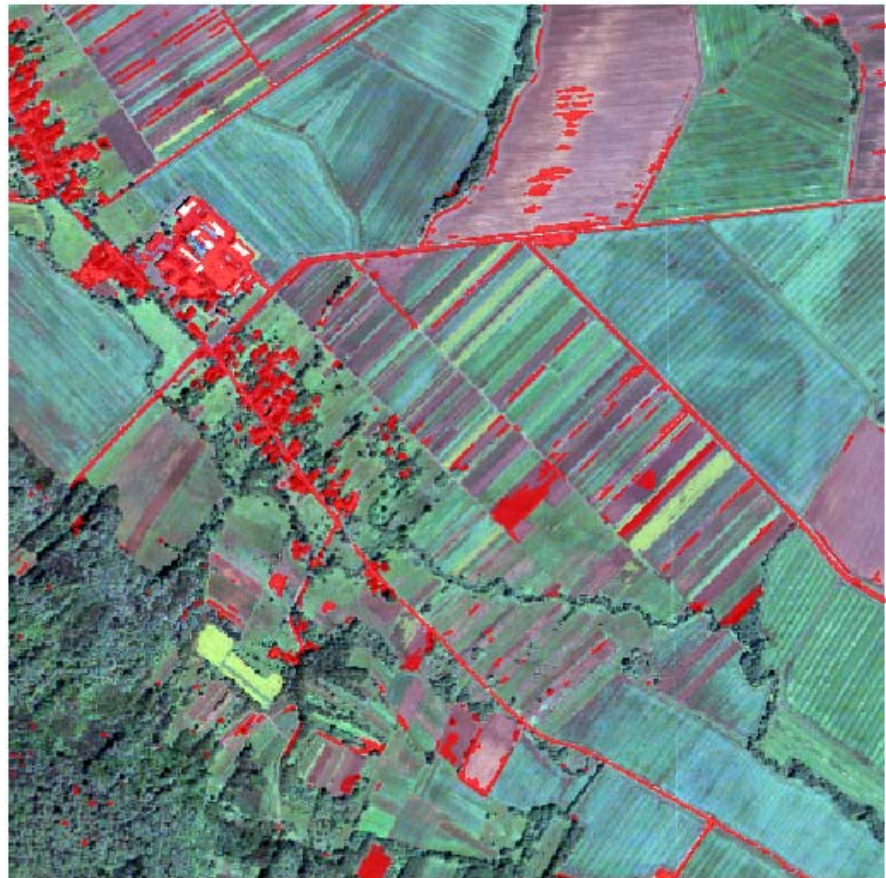


Segmentierungsebene 4 (*Scale Parameter 150*)

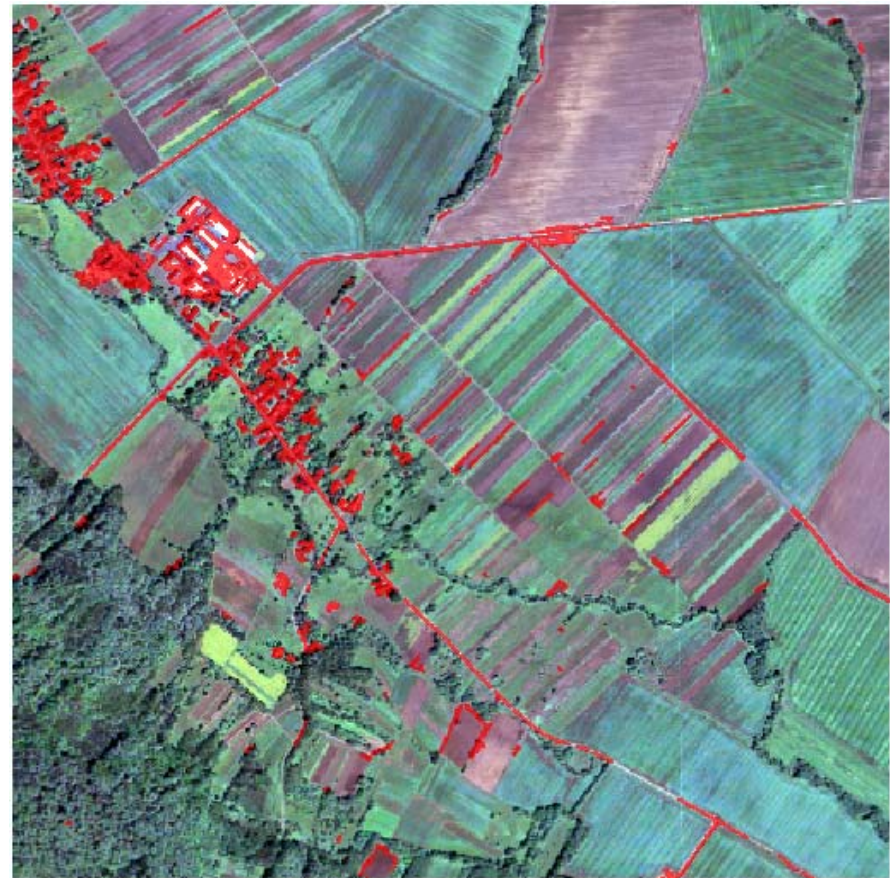
Abbildung 9b: Klassifikationsergebnisse der Klasse Grünland auf einzelner Segmentierungsebenen

Klasse Siedlung

Die Klasse Siedlung umfasst Strassen, Wege und Bebauung. Auch hier treten auf feineren Segmentierungsebene Klassifikationsfehler häufiger auf. Die korrekte Ermittlung wird durch Schatten im Waldgebiet bzw. Ähnlichkeiten mit den vegetationslosen Ackerflächen erschwert.



Segmentierungsebene 1 (*Scale Parameter 30*)



Segmentierungsebene 2 (*Scale Parameter 50*)

Abbildung 10a: Klassifikationsergebnisse der Klasse Siedlung auf einzelner Segmentierungsebenen

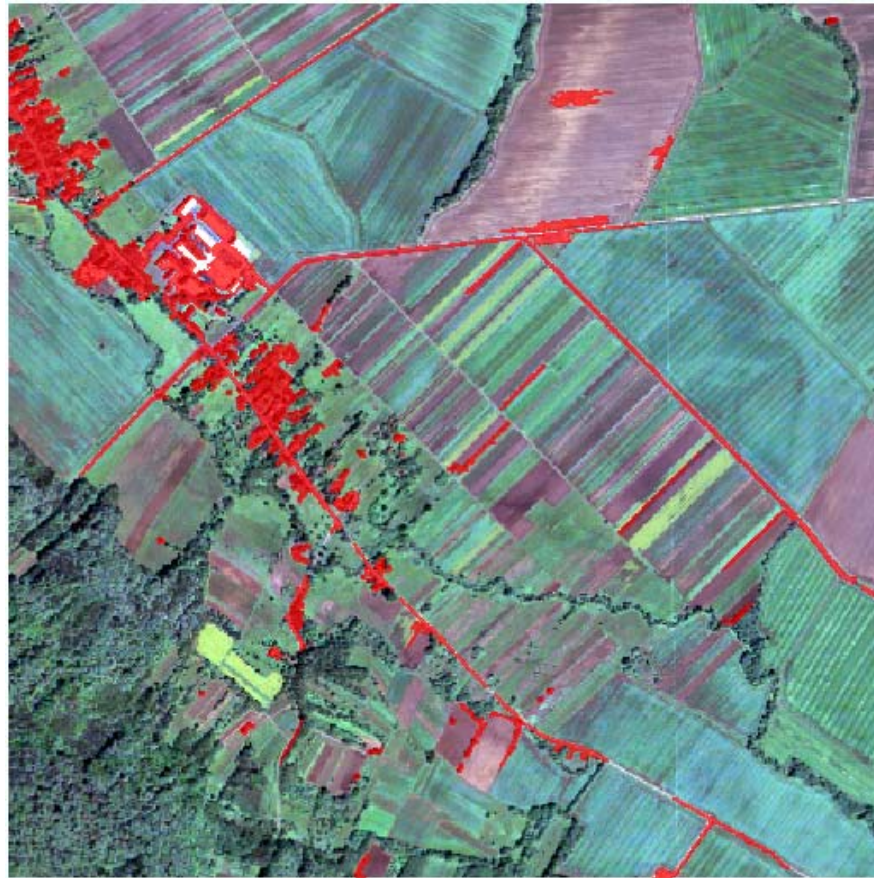
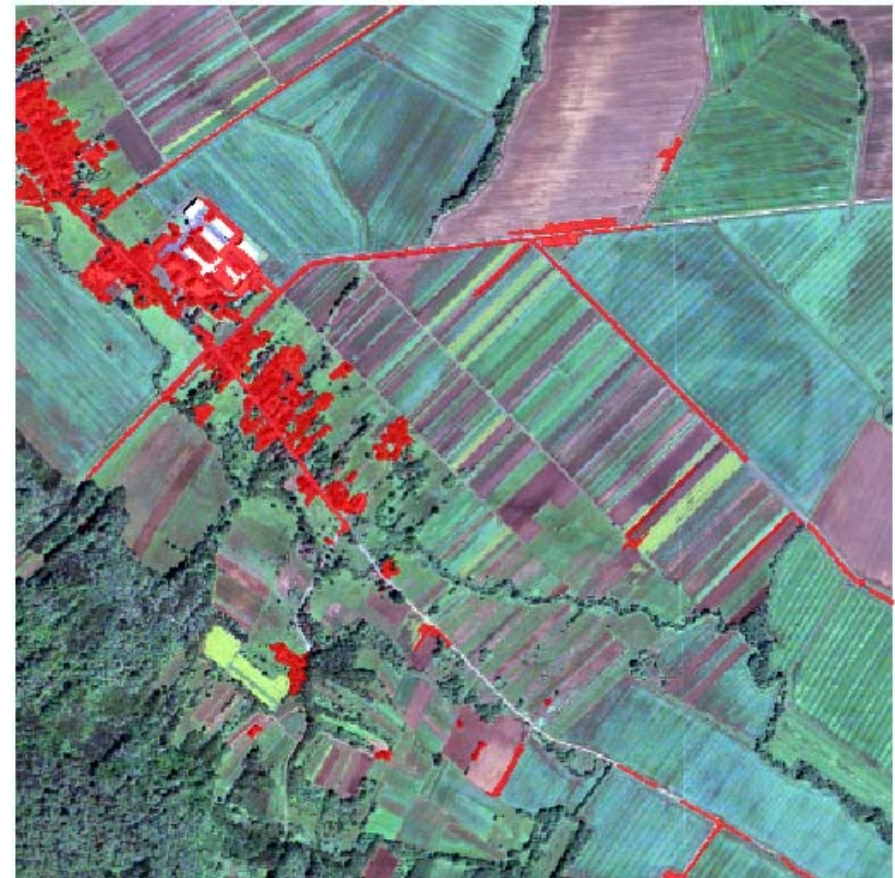
Segmentierungsebene 3 (*Scale Parameter 100*)Segmentierungsebene 4 (*Scale Parameter 150*)

Abbildung 10b: Klassifikationsergebnisse der Klasse Siedlung auf einzelner Segmentierungsebenen

Klasse Ackerfläche

Es handelt sich eigentlich um zwei spektral klar abtrennbaren Klassen – vegetationslose und vegetationsbedeckte Ackerflächen, die auf semantischer Ebene zu einer Klasse Ackerfläche zusammengeführt werden. Durch Klassifikation auf verschiedenen Ebenen zeigt sich, dass mit einer Verfeinerung der Segmentierung die Bestände immer lückenhafter klassifiziert werden, wodurch der Kontext verlorengeht.

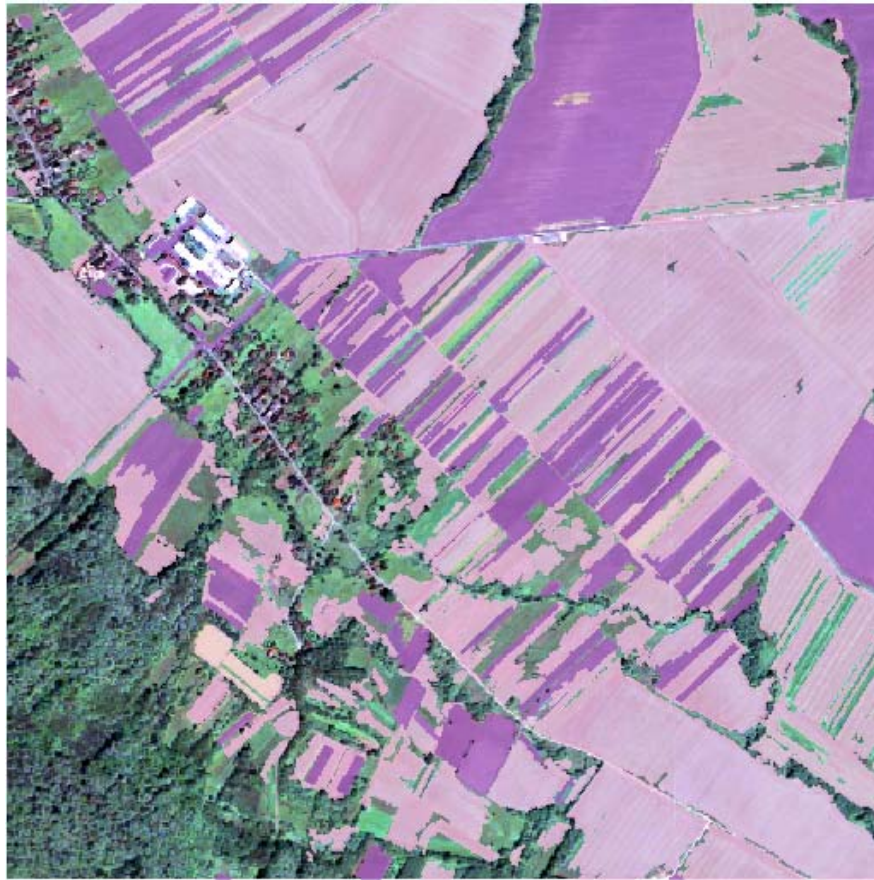


Segmentierungsebene 1 (*Scale Parameter 30*)



Segmentierungsebene 2 (*Scale Parameter 50*)

Abbildung 11a: Klassifikationsergebnisse der Klassen vegetationslose Ackerflächen (violett) und vegetationsbedeckte Ackerflächen (rosa) auf einzelner Segmentierungsebenen



Segmentierungsebene 3 (*Scale Parameter 100*)



Segmentierungsebene 4 (*Scale Parameter 150*)

Abbildung 11b: Klassifikationsergebnisse der Klassen vegetationslose Ackerflächen (violett) und vegetationsbedeckte Ackerflächen (rosa) auf einzelner Segmentierungsebenen

Die nichthierarchische Klassifikation auf allen Levels hat ergeben, dass sich für die Klassifikation der definierten Zielklassen vor allem Level 4 und Level 3 gut eignen, um eine sinnvolle und lückenlose Abtrennung zu erzielen.

Es hat sich auch ergeben, dass durch Angabe mehrerer Beispielflächen der spektraler Merkmalsraum der Klasse besser definiert wird, wodurch die Klassifikationsergebnisse verbessert werden.

5.2.2 Hierarchische Klassifikation

Mit den gleichen Beispielflächen wird noch ein hierarchischer Klassifikations-Ansatz angewendet. Die Ergebnisse sind in Abbildungen 12a und 12b dargestellt.

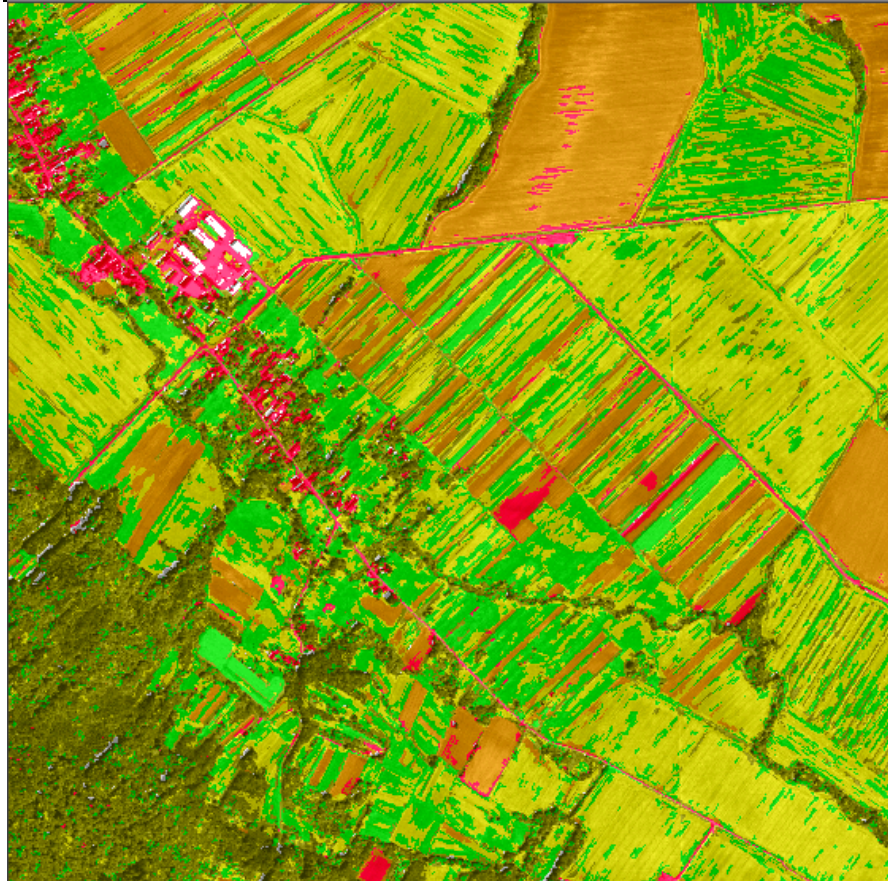
Segmentierungsebene 1 (*Scale Parameter 30*)Segmentierungsebene 2 (*Scale Parameter 50*)

Abbildung 12a: Klassifikationsergebnisse des hierarchischen Ansatzes auf einzelner Segmentierungsebenen.

- Ackerfläche (vegetationsbedeckt)
- Ackerfläche (vegetationslos)
- Grünland
- Versiegelte Fläche
- Wald/Baumbestand

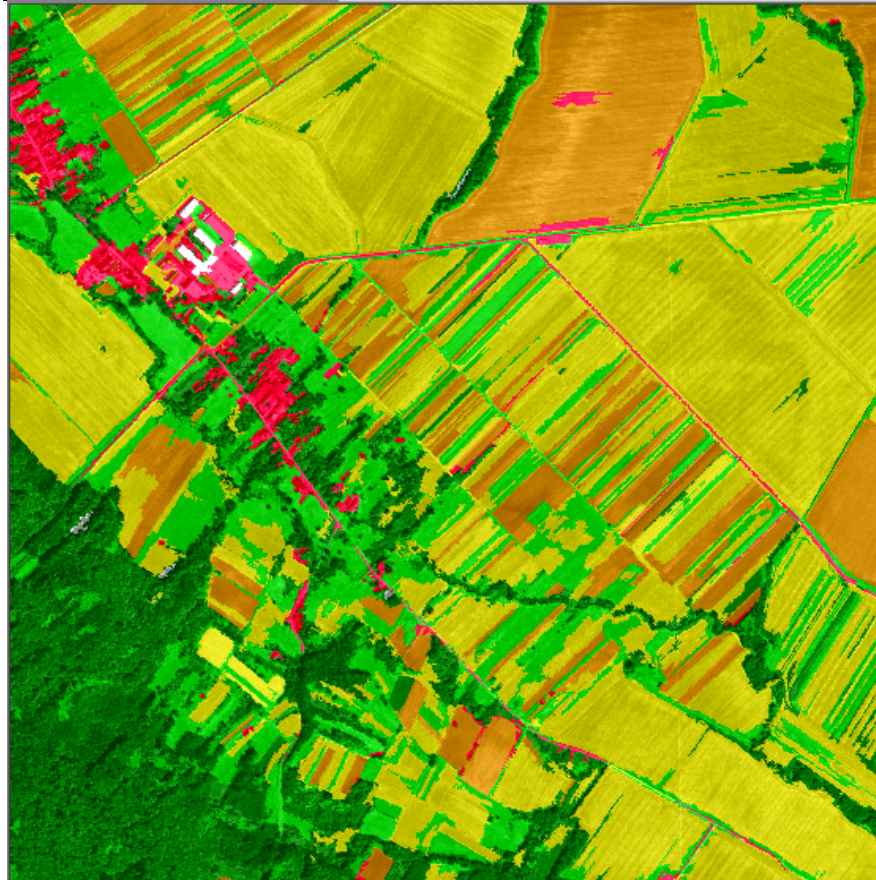
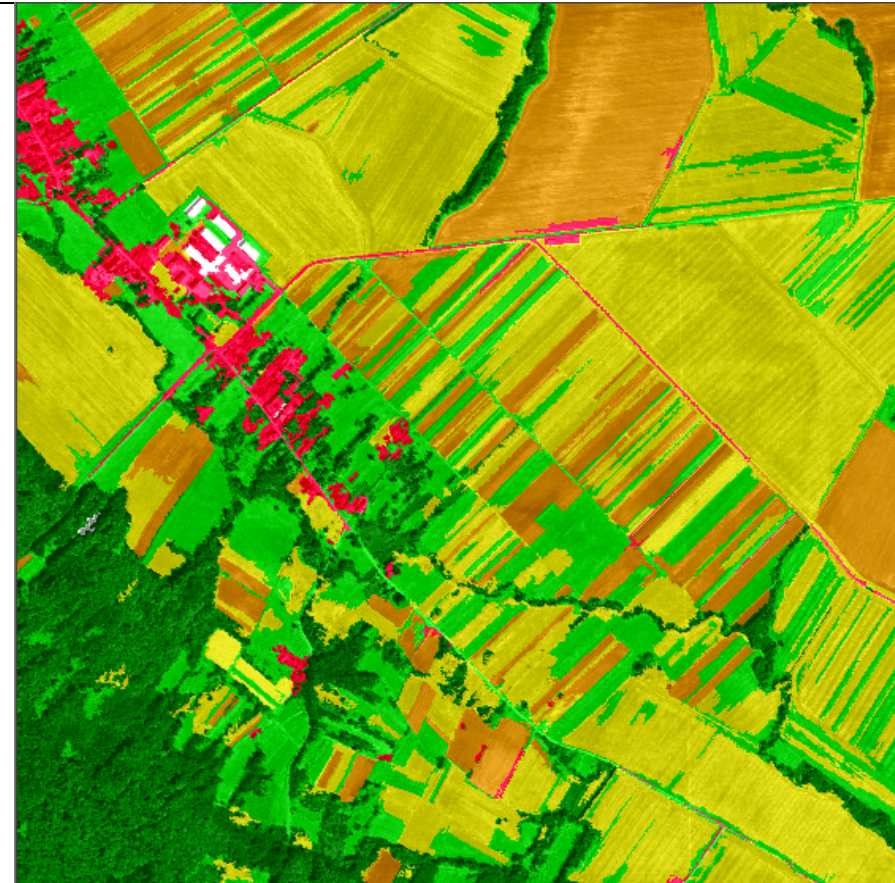
Segmentierungsebene 3 (*Scale Parameter* 100)Segmentierungsebene 4 (*Scale Parameter* 150)

Abbildung 12b: Klassifikationsergebnisse des hierarchischen Ansatzes auf einzelner Segmentierungsebenen.

- Ackerfläche (vegetationsbedeckt)
- Ackerfläche (vegetationslos)
- Grünland
- Versiegelte Fläche
- Wald/Baumbestand

Bei der Klassifikation auf Feinskalenniveau (Level 1, Scale Parameter 30) treten neben der Abgrenzung der kleinsten Objekte auch zahlreiche Inhomogenitäten innerhalb einheitlichen Bodenbedeckungen auf.

Beim visuellen Vergleich von unterschiedlichen Klassifikationsergebnisse mit Daten der Geländerkartierung hat sich gezeigt, das eine optimale Abgrenzung der Zielklassen durch einen hierarchischen Klassifikationsansatz unter Einbeziehung von Level 4 und Level 3 erzielt wird. Bei der Klasse Wald/Baumbestand werden dabei noch Klassifikationsergebnisse von Level 4 auf Level 3 verlinkt, um Klassifikationsfehler im Bereich der Ackerflächen zu vermeiden.



Abbildung 13: Klassifikationsergebnis



Abbildung 14: Kartierungsergebnis

5.3 GENAUIGKEITSANALYSE

Eine Validation der berechneten Ergebnisse ist notwendig, um festzustellen, wie gut die gewählte Methode funktioniert. Dazu verwendet man als Vergleich i.d.R. die Informationen der zeitnah zur Satellitenbildtaufnahme durchgeführten Geländekartierung.

Die Klassifikationsgenauigkeit wird in diesem Fall ermittelt durch den visuellen Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit den den Ergebnissen der vorhandenen Geländekartierung, die um die gleiche Zeit durchgeführt wurde (Mai 2005).

Für jede Klasse werden unabhängig von ihrem Flächenanteil 20 Testpunkte durch einen Random Points Tool (<http://arcscripts.esri.com/details.asp?dbid=10955>) erzeugt (Abbildung 15a – 15d). Die Ergebnisse der Klassifikationskontrolle sind in Tabelle 3 dargestellt.

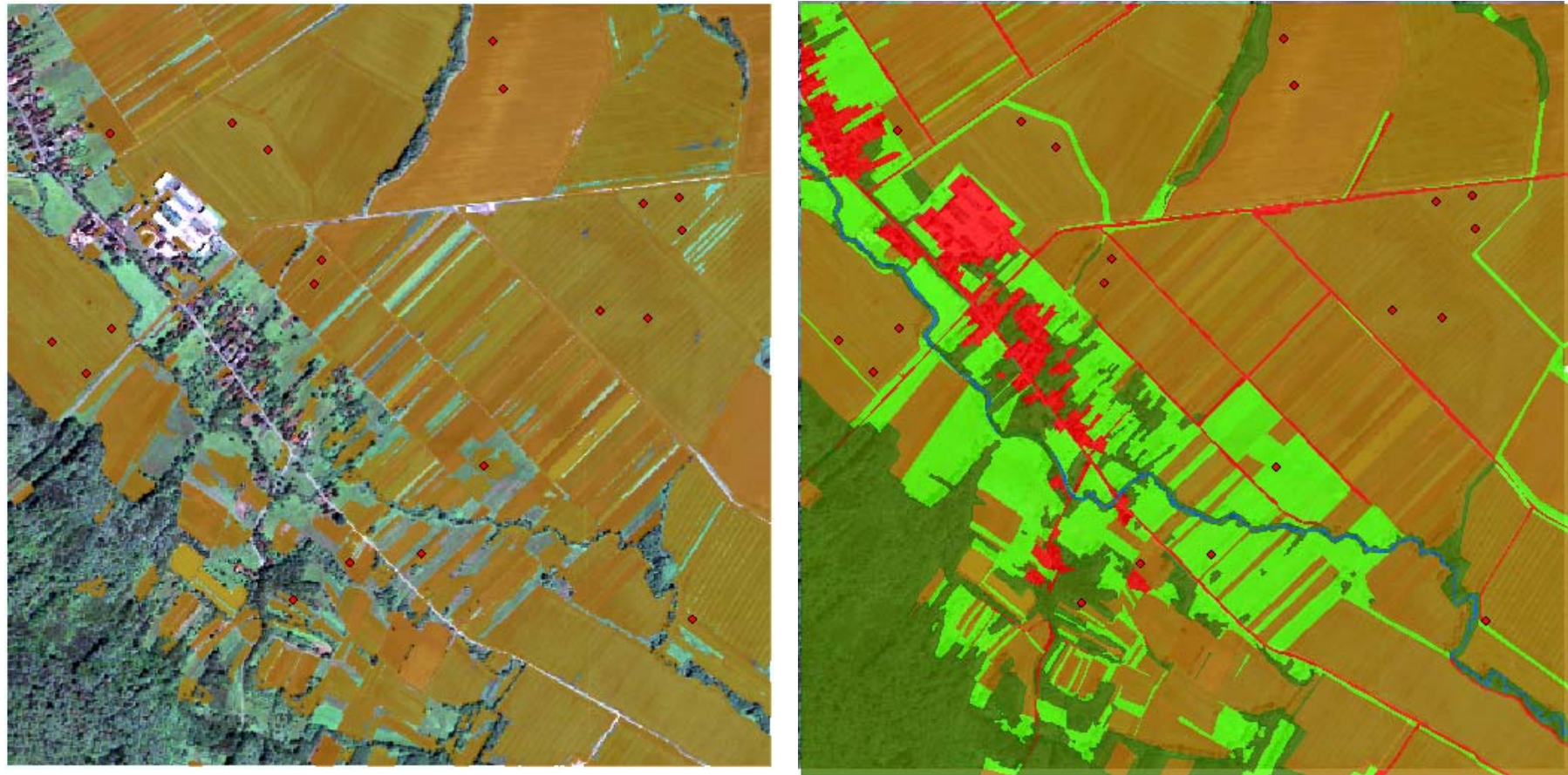


Abbildung 15a: Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit den Ergebnissen der Geländekartierung mittels Testpunkte. Links: Klassifikationsergebnisse, Rechts: Ergebnisse der Geländekartierung; Klasse: Ackerfläche

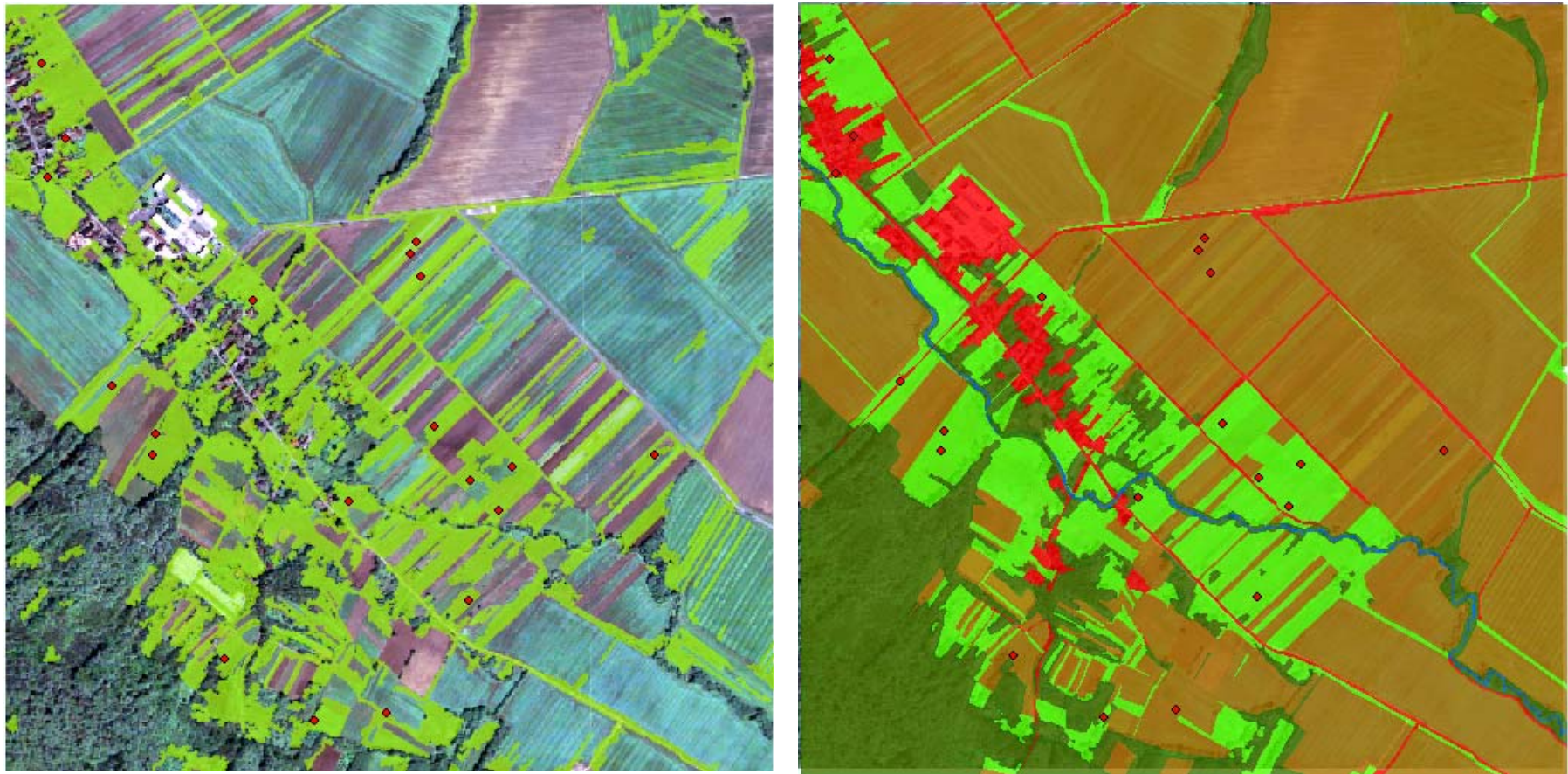


Abbildung 15b: Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit den Ergebnissen der Geländekartierung mittels Testpunkte. Links: Klassifikationsergebnisse, Rechts: Ergebnisse der Geländekartierung; Klasse: Grünland.

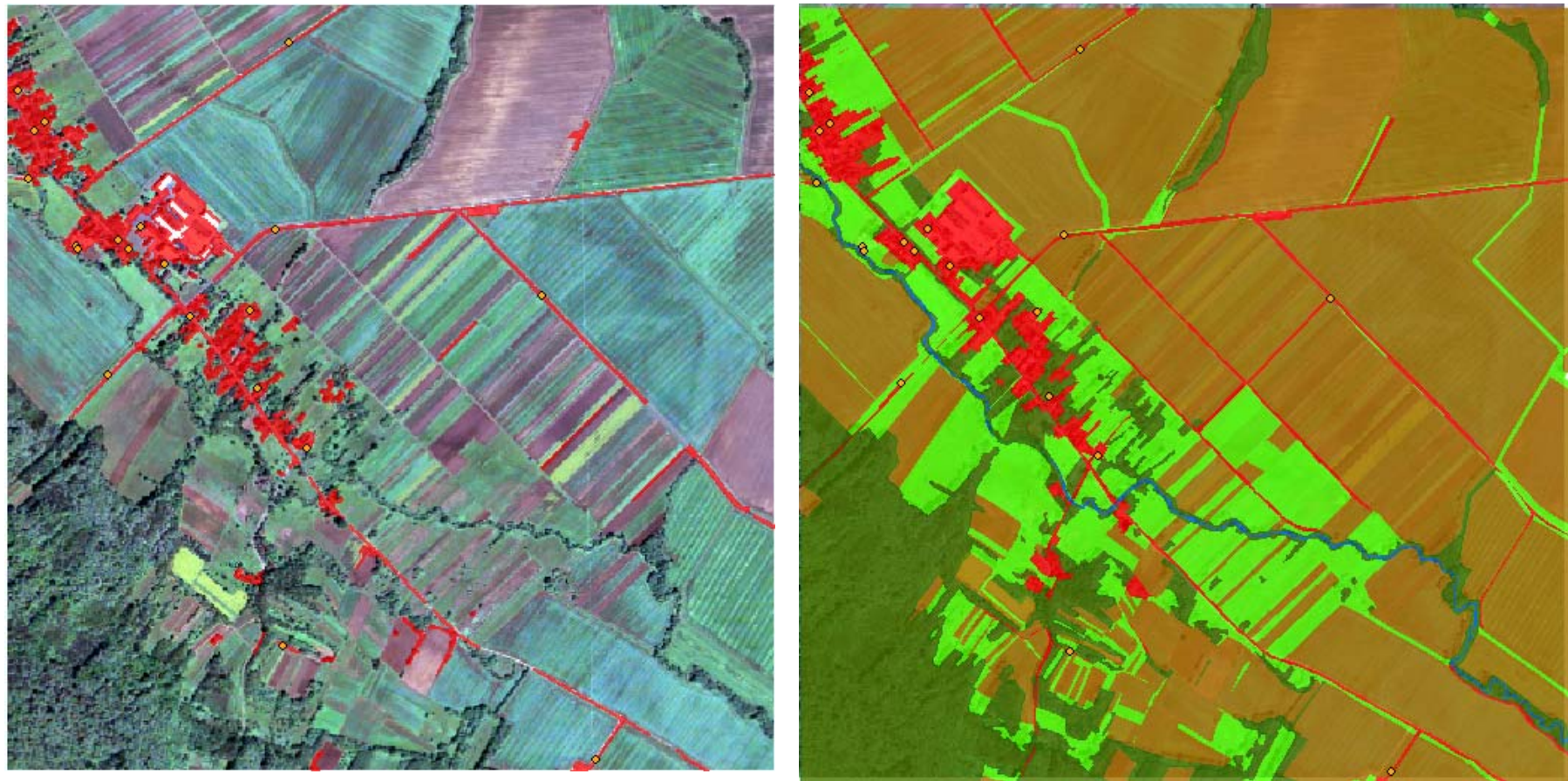


Abbildung 15c: Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit den Ergebnissen der Geländekartierung mittels Testpunkte. Links: Klassifikationsergebnisse, Rechts: Ergebnisse der Geländekartierung; Klasse: Siedlung.

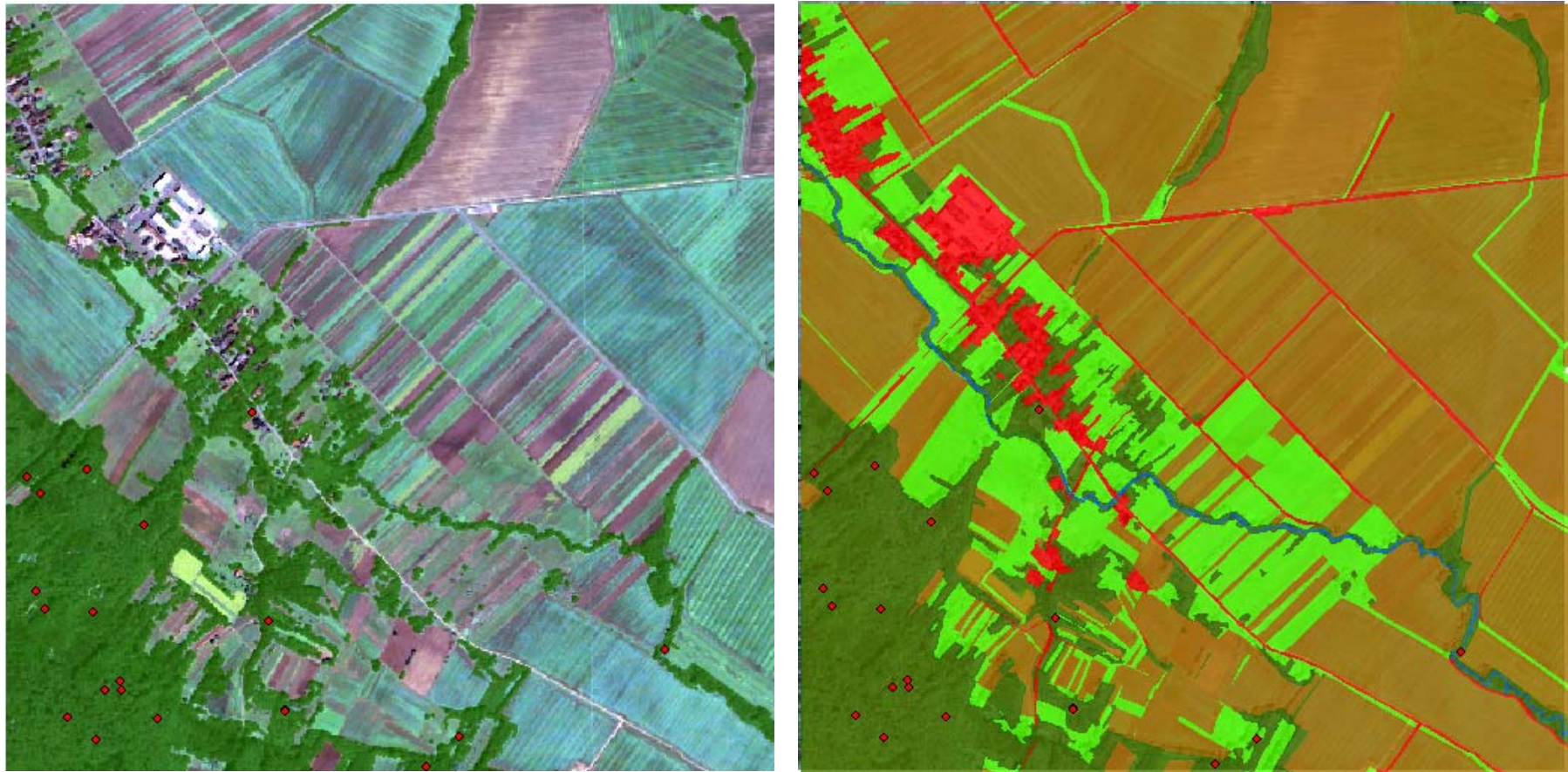


Abbildung 15d: Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit den Ergebnissen der Geländekartierung mittels Testpunkte. Links: Klassifikationsergebnisse, Rechts: Ergebnisse der Geländekartierung; Klasse: Wald/Baumbestand.

Tabelle 3: Klassifikationsgenauigkeit

Klasse	Klassifikationsgenauigkeit
Ackerfläche	95%
Grünland	65% (80%)
Siedlung	90% (100%)
Wald/Baumbestand	100 %

Innerhalb der Klasse Ackerfläche waren 19 Testpunkte richtig klassifiziert, was eine Klassifikationsgenauigkeit von 95% ergibt. Die Fehlklassifikation befindet sich innerhalb der vegetationsbedeckte Ackerfläche.

In der Klasse Grünland beträgt die Klassifikationsgüte im Vergleich mit der Daten der Geländekartierung 65% - nur 7 von insgesamt 20 Testpunkte waren richtig klassifiziert.

Bei der näheren Betrachtung hat sich aber erwiesen, dass bei der Geländekartierung die Übergangsbereiche zwischen unterschiedlichen Habitattypen nicht extra ausgewiesen wurden, wodurch es jetzt bei dem Vergleich der Daten zu ungenauer Ausweisung der Fehlklassifikation kommt. Die im unteren Bild dargestellten Testpunkte befinden sich im Randbereich der Ackerflächen bzw. des Siedlungsbereiches und sind durch ruderalen Vegetation charakterisiert, die eigentlich zur Klasse Grünland gehört.

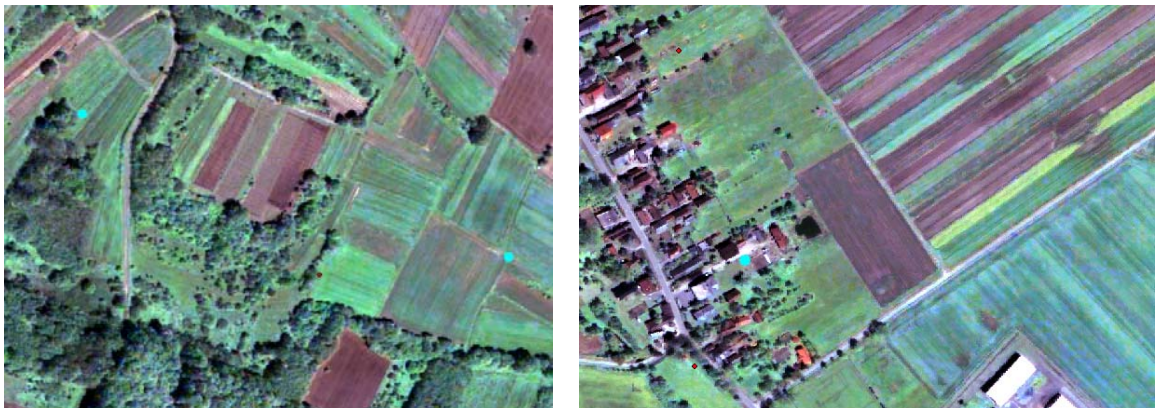


Abbildung 16: Fehlklassifizierte (blau) Testpunkte der Klasse Grünland; Links: Im Randbereich der Ackerflächen; Rechts: Im Bereich der Siedlung.

Es bleiben also nur die vier falsch klassifizierte Testpunkte im Bereich der Ackerflächen, die dann eine Klassifikationsgenauigkeit von 80% ergeben und stellen unter Frage die Genauigkeit der Geländekartierungsdaten.

Die Klassifizierung der Klasse Siedlung zeigt eine Klassifikationsgüte von 90%. Bei genauer Betrachtung der beiden fehlklassifizierten Testpunkte hat sich wieder die Genauigkeit der Geländekartierungsdaten als ungenügend erwiesen, da die beiden Testpunkte im Bereich liegen, der eher an eine Baustelle erinnert und dadurch zur Klasse Siedlung gehört.



Abbildung 17: Fehlklassifizierte (blau) Testpunkte der Klasse Siedlung.

Der Vergleich zwischen der Klassifikation der Klasse Wald/Baumbestand und Geländekartierungsdaten ergibt eine Übereinstimmung von 100%.

Die Klasse Gewässer, die im kartiertem Teilbereich vorkommt, konnte bei der Klassendefinition im Satellitenbild nicht erfasst werden und deswegen kommt in der Klassifikation nicht vor. Es handelt sich nämlich um ein Bach mit einem niedrigen Wasserstand im tief eingeschnittenen Bachbett, das noch zusätzlich durch Baumbestand überdeckt wird, deswegen wird im Bild nicht erkennbar und die Angabe der Beispielflächen ist nicht möglich.

Die Klassifikationsergebnisse werden erfolgreich als eine .shp Datei exportiert, was eine weitere Bearbeitung der Daten in GIS-Umgebung ermöglicht.

6 ZUSAMMENFASSENDE BEURTEILUNG UND AUSBLICK

Die Klassifikation von QuickBird-Daten hat sich als eine schnelle und genaue Methode für die Erfassung von Habitattypen auf einem relativ hohen Aggregationsniveau (Habitattypen-Hauptgruppen) erwiesen. Das Ziel dieser Arbeit wird dadurch erreicht - der getestete Ansatz stellt eine sinnvolle Hilfestellung bei der terrestrischen Kartierung, da über den Einsatz der getesteten Methodik die Kartierung auf kleineren Flächen durchgeführt werden kann.

Über den verwendeten *Sample based* Klassifikationsansatz können mit großer Sicherheit die »unwichtigen« Habitattypen-Hauptgruppen, wie z.B. Ackerflächen und Siedlung, aus Satellitenbild-Daten extrahiert werden, was bei grossräumigen flächendeckenden Kartierungen eine enorme Reduzierung an Arbeitsaufwand bedeutet. Der wesentliche Vorteil einer Klassifizierung der Satellitendaten liegt in einer Lieferung der Klassifikationsergebnisse in Form einer .shp Datei, wodurch eine zeitaufwendige Digitalisierung ausfällt.

Bei der Durchführung einer flächendeckender Kartierung der Habitattypen werden normalerweise die Daten über Waldbestände von der »Anstalt für Wälder Sloweniens« übernommen, die eine gute Datenbasis von Waldgesellschaften besitzen. Das Problem stellt aber die nichtaktualisierte Abgrenzung der Waldhabitaten, die durch natürliche Entwicklungsprozesse und anthropogene Eingriffe den permanenten Änderungen unterworfen sind. Die in dieser Arbeit erreichte sehr gute Genauigkeit der Klassifikationsergebnisse der Klasse Wald/Baumbestand zeigt einen Potenzial für die lage- und flächentreue Abgrenzung dieser Bestände, die durch Zusatz von semantischer Daten der »Anstalt für Wälder Sloweniens« ein gutes »Kartierungsergebnis« darstellen können.

Die detaillierte Geländekartierung wird so nur auf Klasse Grünland eingeschränkt, die auch die eigentliche wertvolle Habitattypen umfasst.

In diesem Sinne wird die aufgestellte Hypothese bestätigt: eine Kombination von Klassifizierung auf der Basis von Fernerkundungsdaten, die digitale flächendeckende Informationen über Habitattypen-Hauptgruppen liefert und genauere terrestrischen Kartierung nur ausgewählter Klassen, ergibt nutzbare Ergebnisse.

Thematische Tiefe, die bei Geländekartierung erreicht wird, kann über Klassifikationsverfahren der höchstaflösenden Satellitenbilder kaum erreicht werden.

Grosse Komplexität naturnaher und natürlicher Vegetation sowie die Anforderungen der Fernerkundung, dass die zu unterscheidende Objekte möglichst gross, homogen und gut abgrenzbar sind, erschweren nach Kuhn (1999) den Einsatz von Fernerkundung für die Vegetationstypenkartierungen. Über das Problem bei der Ansprache komplexer, naturnaher Zielklassen, wie z. B. Vegetationsbestände oder Habitattypen, diskutieren auch Lang und Blaschke (2003).

Im Rahmen dieser Arbeit haben sich auch Schwächen der Kartierungsdaten gezeigt. Problem der Subjektivität bei der visuellen Abgrenzung von Einheiten bei Geländekartierung zeigt sich in einer niederen Lage- und Flächentreue des Datensatzes. Eine ungenaue Kartierung kann nicht als Referenzdatensatz verwendet werden, da unnötige Fehlklassifikationen verursacht, wie sich auch während dieser Arbeit gezeigt hat.

Durch den Vergleich der Kartierungsdaten mit der Klassifikationsergebnissen hat sich deutlich gezeigt, dass die Abgrenzung der Bestände (Klassen) mittels Klassifikationsverfahren durch eine sehr hohe Lagegenauigkeit charakterisiert ist. Auch kleinere Objekte, die bei Geländekartierung nicht einzeln nachgezeichnet werden, werden lage- und flächentreu angegeben.

Es stellte sich im Laufe dieser Arbeit noch heraus, dass die Klassifikationsgüte stark von der Anzahl pro Klasse angegeben Beispielfläche abhängt – je höher die Anzahl der Referenzdatenflächen, desto stabiler werden die Klassifikationsklassen.

Eine Ausbesserung der Erfassung von Habitattypen-Hauptgruppen kann unter Einbeziehung einer thematischen Ebene mit Strassennetz erfolgen, wodurch bei der Segmentierung z.B. im Bereich von Waldgebiet oder Baumbestand das Problem überstehender Bäume beseitigt werden kann.

Bei der Klassifikation von Habitattypen konnte auch ein Einsatz von digitalem Kataster nützlich sein, da die meisten Habitattypen durch Nutzung definiert sind, diese aber am häufigsten mit Parzellengrenzen übereinstimmt.

7 LITERATUR

ALBERTZ, J. (2001): Einführung in die Fernerkundung: Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 250 S.

ANDRESEN, T., MOTT, C., SCHÜPFERLING, R., ZIMMERMANN, S., SCHNEIDER, T. (2002): Objektorientierte Analyse von Fernerkundungsdaten zur Erfassung aquatisch/terrestrischer Parameter. In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden. Heidelberg, Wichmann, 222-232.

BAATZ, M., MIMLER, M. (2002): Bildobjekt-Primitive als Bausteine – Extraktion von Objekten »of interest« bzw. anthropogenen Objekten basierend auf der expliziten Kanteninformation von Bildobjekt-Primitiven. In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden. Heidelberg, Wichmann, 179-188.

BLASCHKE, T. (2000): Objektextraktion und regelbasierte Klassifikation von Fernerkundungsdaten: Neue Möglichkeiten für GIS-Anwender und Planer. 5. Symposium „Computergestützte Raumplanung“ – CORP2000: 153-162.

BLASCHKE, T., GLÄßER, C., LANG, S. (2002): Bildverarbeitung in einer integrierten GIS/Fernerkundungsumgebung – Trends und Konsequenzen. In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden. Heidelberg, Wichmann, 1-8.

BLASCHKE, T., LANG, S., MÖLLER, M. (2005): Object-based analysis of remote sensing data for landscape monitoring. Recent developments. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, 2879-2885.

BLASCHKE, T., STROBL, J. (2001): What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. GeoBIT/GIS 6: 12-17.

BURNETT, C., AAVIKSOO, K., LANG, S., LANGANKE, T., BLASCHKE, T. (2003): An Object-based Methodology for Mapping Mires Using High Resolution Imagery. In:

JÄRVET, A., LODE, E. (Eds.): Ecohydrological Processes in Northern Wetlands, Tallinn, 239-244.

BURNETT, C., BLASCHKE, T. (2003): A multi-scale segmentation / object relationship modelling methodology for landscape analysis. *Ecological Modelling* 168 (3), 233-249.

CRASE, B., HEMPEL, C. (2005): Object based land cover mapping for Groote Eylandt: a tool for reconnaissance and land based surveys. *Proceedings of NARGIS 2005 - APPLICATIONS IN TROPICAL SPATIAL SCIENCE*. 4th - 7th July 2005 Charles Darwin University, Darwin, NT, Australia.

Definiens Professional 5 – Reference Book, 2006. Definiens AG, München.

Definiens Professional 5 – User Guide, 2006. Definiens AG, München.

FÖRSTER, M., KLEINSCHMIT, B., VALENTOWSKI, H. (2005): Nutzung unterschiedlicher FE-Sensoren zum Monitoring von Biodiversität in NATURA 2000-Waldgebieten des Alpenvorlandes. In: STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2005*. Beiträge zum 17. AGIT-Symposium Salzburg. Heidelberg, Wichmann, 165-170.

FRICK, A. (2004): Unterstützung von Monitoringaufgaben mit OpenSource-Weblösungen – Beispiel für eine interaktive FFH-Gebietsbetreuung in Brandenburg. In: STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2004*. Beiträge zum 16. AGIT-Symposium Salzburg. Heidelberg, Wichmann, 145-150.

GÄHLER, M., JANOWSKY, R., SCHIEWE, J. (2004): Automatisierte Ableitung von Biotoptypen aus räumlich höchstaufgelösten, multispektralen Bild- und Laserscanning-Daten. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation* (6), 457-484.

GÄHLER, M., JANOWSKY, R., SCHRÖDER U. (2002): Automatisierte Biotoptypenklassifizierung auf Basis höchstauflösender Flugzeugscannerdaten. In:

BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden. Heidelberg, Wichmann, 233-240.

GALLAUN, H., SACKL, P., PRASCHK, C., SCHARDT, M. (2004): Einsatz von Methoden der Fernerkundung und Geoinformatik in Natura 2000-Gebieten im Alpenraum. In: STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2004. Beiträge zum 16. AGIT-Symposium Salzburg. Heidelberg, Wichmann, 157-162.

IVITS, E., KOCH, B. (2002): Optimierung der Erfassung der Landschaftsdiversität auf der Basis von Satelliten- und Luftbildern: ein Europäisches Landschaftskonzept. IÖR Schriften, Band 40, Dresden, 2003.

KAISER, G., BAUER, T., SCHNEIDER, W. (2004): Graphentheoretische Aspekte zur Abgrenzung von Landschaftseinheiten mittels Fernerkundungsdaten. In: STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2004. Beiträge zum 16. AGIT-Symposium Salzburg. Heidelberg, Wichmann, 303-308.

KALIGARIČ, M., ŠKORNIK, S., ŠTUMBERGER, B., HÖNIGSFELD ADAMIČ, M., PETRINEC, V. (2004): Bio-inventarizacija krajinskega parka Goričko : (končno poročilo) = Bio-inventory of nature park Goričko : (final report), 126 S.

KOCH, B., JOCHUM, M., IVITS, E., DEES M. (2003): Pixelbasierte Klassifizierung im Vergleich und zur Ergänzung zum objektbasierten Verfahren. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation 3/2003, 195-204.

KRESSLER, F., KIM, Y., STEINNOCHER, K. (2003): Object-oriented land cover classification of panchromatic KOMPSAT-1 and SPOT-5 data. Proceedings of IGARSS 2003 IEEE, July 2003, Toulouse.

KUHN, G. (1999): Möglichkeiten und Grenzen des vegetationsökologischen Monitorings mit Luftbildern. In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Umweltmonitoring und Umweltmodellierung: GIS und Fernerkundung als Werkzeuge einer nachhaltigen Entwicklung. Heidelberg, Wichmann, 3-11.

LANG, S. (2002): Zur Anwendung des Holarchiekonzepts bei der Generierung regionalisierter Segmentierungsebenen in höchst-auflösenden Bilddaten. In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden. Heidelberg, Wichmann, 24-32.

LANG, S., BLASCHKE, T. (2003): Hierarchical object representation -Comparative multi-scale mapping of anthropogenic and natural features. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and spatial information sciences, Vol. No. XXXIV-3/W8, 181-186.

LANG, S., LANGANKE, T. (2006): Objekt-based mapping and object-relationship modeling for land use classes and habitats. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation 1/2006, 5-18.

LANGANKE, T., BLASCHKE, T., LANG, S. (2004): An object-based GIS / remote sensing approach supporting monitoring tasks in European-wide nature conservation. Proceed. Mediterranean conference on Earth Observation. First Mediterranean Conference on Earth Observation (Remote Sensing), April 21-23, 2004, Belgrade, 245-252.

LANGANKE, T., DEMEL, W., LANG, S., KIAS, U. (2004): Visuelle Interpretation von CIR-Luftbildern im direkten Vergleich mit objekt-basierter Bildanalyse – Showdown im Nationalpark Berchtesgaden. In: STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2004. Beiträge zum 16. AGIT-Symposium Salzburg. Heidelberg, Wichmann, 405-410.

LOTHAR, L., WERNER, K. (2004): Wergleich unterschiedlicher Klassifikationsansätze am Beispiel von hoch auflösenden Satellitenbilddaten im Raum Leipzig. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation 6/2004, 519-526.

MANSOR, S., HONG, W.T., SHARIFF, A. R. M. (2002): Object oriented classification for land cover mapping . Proceedings of the 23rd Asian Conference on Remote Sensing, November 25 - 29, 2002. Kathmandu, Nepal.

MEINEL, G., NEUBERT, M., REDER, J. (2001): Pixelorientierte versus segmentorientierte Klassifikation von IKONOS-Satellitenbilddaten – ein Methodenvergleich. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation* 3/2001, 157-170.

MÖLLER, M., BLASCHKE, T. (2006): GIS-gestützte Bildanalyse der Städtischen Vegetation als ein Indikator urbaner Lebensqualität. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation* 1/2006, 19-30.

NEUBERT, M., MEINEL, G. (2002): Segmentbasierte Auswertung von IKONOS-Daten – Anwendung der Bildanalyse-Software eCognition auf unterschiedliche Testgebiete. In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): *Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden*. Heidelberg, Wichmann, 108-118.

RAMŠAK, Ž., OŠTIR, K. (2002): Uporaba naprednih teknik klasifikacije satelitskih posnetkov na območju Krasa. In: PODOBNIKAR, T., PERKO, D., HLADNIK, D., KREVS, M., ČEH, M., STANČIČ, Z. (Hrsg.): *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003-2004*. Ljubljana, Založba ZRC, 2004, 317-324.

RÜCKER, G., MOTT, C., RIEGER, D. (2005): Automatische und visuelle Landbedeckungsklassifikation hoch auflösender Satelliten- und Laserscandaten von Überschwemmungsgebieten – Möglichkeiten und Grenzen. In: STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2005. Beiträge zum 17. AGIT-Symposium Salzburg*. Heidelberg, Wichmann, 590-595.

SCHIEWE, J., TUFTE, L. (2002): Potenzial regionen-basierter Verfahren für die integrative Auswertung von GIS- und Fernerkundungsdaten. In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): *Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden*. Heidelberg, Wichmann, 42-52.

SCHIEWE, J., TUFTE, L., EHLERS, M. (2001): Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing. *GeoBIT/GIS* 6: 34-39.

SEILER, U., NEUBERT, M., MEINEL, G. (2004): Automatisierte Erfassung von Biotop- und Nutzungstypen. Beispiel der segmentbasierten Klassifikation von IKONOS-Satellitenbilddaten. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 35, (4), 2004, 101-106.

SKUMAVEC, D. (2002): Multispektralna klasifikacija posnetkov QuickBird. In: PODOBNIKAR, T., PERKO, D., HLADNIK, D., KREVS, M., ČEH, M., STANČIČ, Z. (Hrsg.): *Georafski informacijski sistemi v Sloveniji 2003-2004*. Ljubljana, Založba ZRC, 2004, 335-347.

STRUNZ, G., GÜLS, I. (1999): Einsatz von Fernerkundungsmethoden für das Monitoring im Naturschutz. In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): *Umweltmonitoring und Umweltmodellierung: GIS und Fernerkundung als Werkzeuge einer nachhaltigen Entwicklung*. Heidelberg, Wichmann, 75-81.

SYED, S., DARE, P., JONES S. (2005): Automatic classification of land cover features with high resolution imagery and lidar data: an objectoriented approach. *Proceedings of SSC2005 Spatial Intelligence, Innovation and Praxis: The national biennial Conference of the Spatial Sciences Institute*, September, 2005. Melbourne: Spatial Sciences Institute.

TIEDE, D., BURNETT, C., HEURICH, M. (2004): Objekt-basierte Analyse von Laserscanner- und Multispektraldaten zur Einzelbaumdelineierung im Nationalpark Bayerischer Wald. In: STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2004. Beiträge zum 16. AGIT-Symposium Salzburg*. Heidelberg, Wichmann, 690-695.

WEIERS, S., WISSEN, M., BOCK, M., SCHADE, B. (2001): Satellitenfernerkundung im Naturschutz – vom Pilotprojekt zur operationellen Anwendung. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation* 3/2001, 177-188.

WERNER, C., KENNEWEG, H. (1999): Aktualisierung und Ergänzung der Biotoptypen- und Naturschutztypenkartierung in Sachsen-Anhalt mit IRS-1C-Satellitendaten. In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): *Umweltmonitoring und Umweltmodellierung: GIS und*

Fernerkundung als Werkzeuge einer nachhaltigen Entwicklung. Heidelberg, Wichmann, 99-108.

Internetquellen

ESRI Support Center: ArcScripts: Generate randomly distributed points. <http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=10955> (13.4.2007)

Eurimage S.p.A. Partita IVA: Multi-Mission Satellite Data. <http://www.eurimage.com/> (13.10.2006)

HONDONG, H.: Inventuren als Informationsinstrumente der Naturschutzplanung. Methodische Ansätze zur Erfassung von Landschaftsqualitäten für den Arten und Biotopschutz in der Bundesrepublik Deutschland mit einer Fallstudie am Beispiel von drei Gemarkungen der Schwarzwald-Tieflagen. Göttingen, 2002. <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2003/hondong/hondong.pdf> (7.9.2006)

Luftbild und Planung GmbH: Luftbild und Planung in Potsdam – Forschungsprojekt SARA. http://www.lup-umwelt.de/de/site/forsch1_middle.htm (24.11.2004)

Ministrstvo za okolje in prostor: Območja Natura 2000. <http://www.natura2000.gov.si/obmocja.htm> (9.3.2006)

WERNER K.: Pixelorientierte versus objektorientierte Klassifikation eines hochauflösenden IKONOS-Satellitenbildes am Beispiel des Nordraumes der Stadt Leipzig (2004). <http://www.ufz.de/data/ufzbericht-12-042151.pdf> (20.2.2007)