

## Objektorientierte Klassifikation terrestrischer Ölverschmutzungen mittels hoch auflösender Satellitendaten in West-Sibirien

JOHANNES REICHE, SÖREN HESE & CHRISTIANE SCHMULLIUS, Jena

**Keywords:** Remote Sensing, oil spill, Quickbird, object-oriented, context classification, Siberia

**Zusammenfassung:** Die Kartierung terrestrischer Oil Spills fand bisher in der optischen Fernerkundung wenig Anwendung, da durch die Vermischung der spektralen Signaturen von Vegetation und Böden mit denen von Ölverschmutzungen eine eindeutige Ausweisung auf der Landoberfläche nach radiometrischen Merkmalen problematisch ist und Verunreinigungen oft kleinräumig auftreten. In der vorliegenden Arbeit wird eine objektorientierte wissensbasierte Methode zur Kartierung terrestrischer Ölverschmutzungen aus geometrisch hoch aufgelösten Quickbird-Daten vorgestellt, die neben radiometrischen Eigenschaften kontextuelle Merkmale zur Beschreibung ölkontaminierter Flächen integriert und dadurch das Problem der spektralen Überschneidungen von Signaturen minimiert. Ein 6 km<sup>2</sup> großer Ausschnitt eines durch intensive Ölförderung geprägten Fördergebietes innerhalb der West-Sibirischen Provinz Khanty-Mansiysk bildet das Untersuchungsgebiet. Das entwickelte Verfahren ermöglicht die Quantifizierung der Ölverschmutzungen im Untersuchungsgebiet und stellt wichtige Informationen zum Monitoring der Oil Spills zur Verfügung.

**Summary:** *Object-oriented Classification of Terrestrial Oil Spills using High-Resolution Satellite Data in West Siberia.* This paper presents an object-oriented and knowledge-based approach for the classification of terrestrial oil spills using high-resolution Quickbird data. A crude oil contaminated 6 sqkm sub area of the Khanty-Mansiysk oil-production district in West Siberia was defined as the study area. The problem of mixed spectral signatures of vegetation, soils and crude oil substances complicates the clear identification of oil polluted areas on land using only spectral features. Contextual object features (class related information) were used therefore together with spectral features for the description of oil contaminated areas. The approach minimized the problem of the heavily mixed spectral signatures using context information (distance to production platforms, distance to pipelines etc.) to increase the classification accuracy of contaminated land surface objects with a complex and mixed spectral character.

### 1 Einleitung

Im Rahmen des Pilotprojektes OSCaR (Oil Spill Contamination mapping in Russia) (HESE & SCHMULLIUS 2006: 2) befasst sich die vorliegende Arbeit mit der Kartierung von Oil Spills in West-Sibirien mittels räumlich hoch aufgelöster multispektraler Fernerkundungsdaten.

In der Region Khanty-Mansiysk in West-Sibirien, in der das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit verortet ist, befindet sich die größte Ölförderregion Russlands, in der infolge von Leckagen und Brüchen an Pipelines sowie produktionsbedingten Unfällen großräumig Bereiche durch Öl kontaminiert sind (Worldbank 2000, in Iwaco Report 2001:39). Die Verschmutzung des Bodens,

der Vegetation und der Luft ist ebenso wie die Kontamination des Oberflächen- und Grundwassers eine Folge der Freisetzung von Rohöl, Ölprodukten und Bohrschlämmen auf dem Land (HINTE 2005: 35f). Die Kartierung dieser Flächen bildet die Voraussetzung zur Quantifizierung der ökologischen Folgen der Ölverschmutzungen.

Neue geometrisch hoch aufgelöste Datensätze erlauben durch den Detailgehalt der Bilddaten die Erfassung der räumlichen Heterogenität derartiger Umweltverschmutzungen, bedingen jedoch Probleme bei der Auswertung mit traditionellen pixelbasierten Klassifikationsverfahren, welche rein auf spektralen Merkmalen basieren (NEUBERT & MEINEL 2002: 109). Durch die Gruppierung benachbarter Pixel zu Bildobjekten als Grundlage der Bildanalyse ermöglicht die objektorientierte Datenverarbeitung neben radiometrischen Merkmalen die Integration von Form, Textur und kontextuellen Attributen (SCHIEWE 2002: 7).

Unter Anwendung solcher semantischer Informationen zur Beschreibung von Objekten der 'realen Welt' beschäftigt sich diese Arbeit mit der Entwicklung einer objektbezogenen, wissensbasierten Methodik zur Kartierung ölkontaminierter Flächen aus hoch aufgelösten Quickbird-Daten.

## 2 Objektorientierte Bildverarbeitung

Eine zunehmende Fülle an zu extrahierenden Informationen aus hoch aufgelösten Fernerkundungsdaten erhöht den Bedarf an neuen Klassifikationsmethoden, die neben den spektralen auch geometrische Merkmale und Nachbarschaftsbeziehungen zur Analyse dieser nutzen (NEUBERT & MEINEL 2002: 109).

Einzelne Pixel können solche wichtigen semantischen Informationen nicht ausdrücken (BAATZ et al. 2004: 3-2). Durch die Bildung von Segmenten (Bildobjekten) als Basis einer objektorientierten und wissensbasierten Datenanalyse überwindet die objektorientierte Bildverarbeitungssoftware Definiens Professional die Limitationen der pixelbasierten Ansätze (BENZ et al. 2004:

240), da Segmente und deren gegenseitige Beziehungen die geforderte Bereitstellung semantischer Informationen ermöglichen (BAATZ et al. 2004: 3-3).

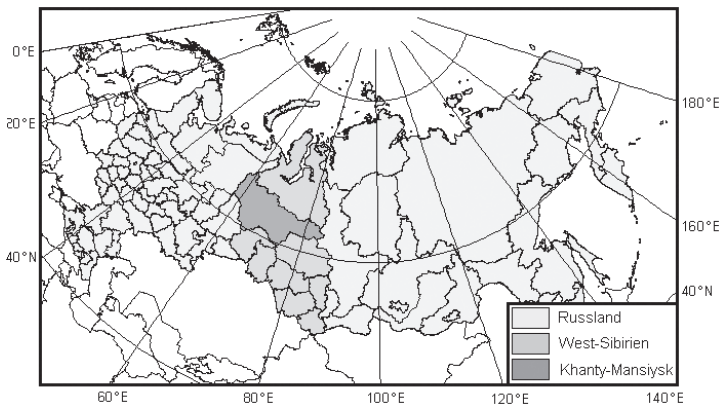
Der Aufbau einer Wissensbasis in Form einer hierarchischen Klassenstruktur (Vererbungshierarchie) zur Beschreibung von Wissen und Konzepten bildet die Grundlage für die sich anschließende *Fuzzy*-Klassifikation. Zum Aufstellen der Regeln für die Klassenhierarchie bietet Definiens Professional neben Objekteigenschaften wie spektralen Eigenschaften, Textur, Form und Fläche auch die Möglichkeit, klassenbezogene Merkmale, so genannte „*Class Related Features*“, und thematische GIS-Daten (BUCK et al. 1999: 100) einzubeziehen (BLASCHKE 2000: 10). „*Class Related Features*“ ermöglichen es, durch topologische Relationen zu Nachbar-, Unter- und Oberobjekten sowie Information über Klassifikationszugehörigkeiten die Beziehung zwischen räumlichen Objekten einzubinden (WILLHAUCK 2000: 217).

## 3 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

### 3.1 Beschreibung der Region Khanty-Mansiysk

In der 534 800 km<sup>2</sup> großen Region Khanty-Mansiysk, die mit acht weiteren Teilrepubliken West-Sibirien bildet (Abb. 1), befindet sich das größte Ölfördergebiet Russlands, das mit 58% am russischen Produktionsvolumen beteiligt ist. Als Hauptimporteure des Rohöls sind Deutschland und die restlichen westeuropäischen Staaten zu nennen (Iwaco Report 2001: 23).

Weitläufige Tundra- und Taigagebiete prägen die Region. Die Tundragebiete sind dabei durch ausgedehnte Feuchtgebiete und Torfmoore sowie Permafrostböden charakterisiert (Iwaco Report 2001: 8). Klimatisch ist die Region Khanty-Mansiysk bei Temperaturen von -36°C im Januar und 17°C im Juli (WorldBank 1994: 50) dem kontinentalen und subarktischen Klima zuzuordnen. Große, bisher ungeforderte Ölreserven in strukturellen und stratigraphischen Ablage-



**Abb. 1:** Geographische Eingliederung der Region Khanty-Mansiysk.

rungsfallen im Dogger (mittleres Jura) charakterisieren das Gebiet geologisch (Iwako Report 2001: 8).

Die Besiedlung konzentriert sich auf das Gebiet um den Verwaltungssitz Khanty-Mansiysk, einige weitere größere Orte und die in den letzten 25 Jahren entstandenen Ölfördergebiete (Iwako Report 2001, in HESE & SCHMULLIUS 2006: 2).

### 3.2 Ursachen und Folgen der Ölverschmutzungen

Kontaminierte Gebiete werden in Khanty-Mansiysk durch einen jährlich geschätzten Öleintrag von 2 Millionen Tonnen (Iwako Report 2001: 51) auf 2–4% des gesamten Ölfördergebietes angenommen (BABENKO 2003: 1). Leckagen und Brüche an Pipelines sind mit 97,8% die Hauptursache der Verschmutzungen (Worldbank 2000, in Iwako Report 2001: 39) (Abb. 2). Als weitere Ursachen sind Unfälle an Bohrstationen, abgelagerte ölverseuchte Bohrschlämme und der vorsätzliche Ablauf von Öl zu nennen (Iwako Report 2001: 51). Es ist zu bemerken, dass es bis 1990 von industrieller Seite keinerlei Berücksichtigung von Schutzmaßnahmen gegen Ölverschmutzungen gab. Technologische Sicherheitsmaßnahmen sind bis heute nur unzureichend umgesetzt (Iwako Report 2001: 18).

Feuchtgebiete sind besonders stark durch Öleinträge betroffen, da ein hoher

Grundwasserspiegel in Sumpf- und Torfgebieten zur schnellen Ausbreitung des Öls führt. Mit dem Grundwasser vermisches Öl impliziert durch den Transport in Richtung des Grundwasserflusses die Kontamination auch weit vom Ort des Öleintrages entfernter Gewässer und Quellen (FINGAS 2000: 177). In Taigagebieten verhindert Krustenbildung durch Verwitterung des Erdöls die Atmung des unterliegenden Bodens und somit das Pflanzenwachstum. Eine langjährige Ölverschmutzung hat ein Absterben der heimischen Koniferenwälder zur Folge (FINGAS 2001: 182).

Sozioökonomische Folgen der langjährigen Ölverschmutzungen des Bodens, des Grundwassers und der Luft sind insbesondere gesundheitliche Schäden wie der signifikante Anstieg onkologischer Erkrankungen der ansässigen Bevölkerung (Iwako Report 2001: 69).



**Abb. 2:** Oil Spill durch Leckagen an Pipeline (Photo: S.Cejchan, BFH Hamburg).

### 3.3 Datengrundlage

Die in dieser Arbeit verwendeten multispektralen Quickbird-Daten (Tab. 1) bedecken einen 16 km<sup>2</sup> großen Ausschnitt nördlich des Ortes Surgut in der Region Khanty-Mansiysk. Die Daten sind in UTM Zone 43 mit dem Bezugsellipsoid WGS84 georeferenziert und wurden auf eine Pixelgröße von 2,5 m resampled. Sie wurden nicht atmosphärenkorrigiert.

Ground-Truth-Informationen standen vom in Khanty-Mansiysk ansässigen OSCaR-Projektpartner an der Yugra-State-Universität (in Form von GIS-Layern) zur Verfügung. Neben GIS-Layern mit Infrastrukturinformation zur Lage von Straßen und Bohrstationen lagen GIS-Informationen über die räumliche Ausdehnung der ölkontaminierten Flächen im Untersuchungsgebiet vor. Allerdings wurden diese auf Grundlage von Landsat-Szenen durch ortsansässige Experten abgeleitet. Damit sind sie qualitativ mit echten im Gelände erhobenen Bodeninformationen nicht gleichzusetzen (Abb. 3). Die geometrische Genauigkeit der Expertenkartierung in Bezug auf die Evaluierung hoch aufgelöster Quickbird-Daten ist allerdings zu gering, da die räum-

Tab. 1: Quickbird-Datensatz in OSCAR.

Parameter	Spezifikation
Aufnahmedatum	2004-09-27
Größe der Szene (km)	16 × 16
Wolkenbedeckung (%)	1
Katalog ID	101001000348E202
Off-Nadir	19 Grad
Geometrische Auflösung (m)	2,5 (multispektral) 0,6 (panchromatisch)
Radiometrische Auflösung	16 bit

liche Heterogenität der Ölverschmutzungen im Gebiet durch Landsat-Daten nicht ausreichend abgebildet wird.

### 4 Methodik

Ausgehend von einer visuellen Analyse der Bilddaten wurden im ersten Teil des methodischen Vorgehens Zielobjekte der ‚realen Welt‘ herausgearbeitet und zu einem konzeptionellen Modell verknüpft. Die Übertragung dieses Modells und der spezifischen

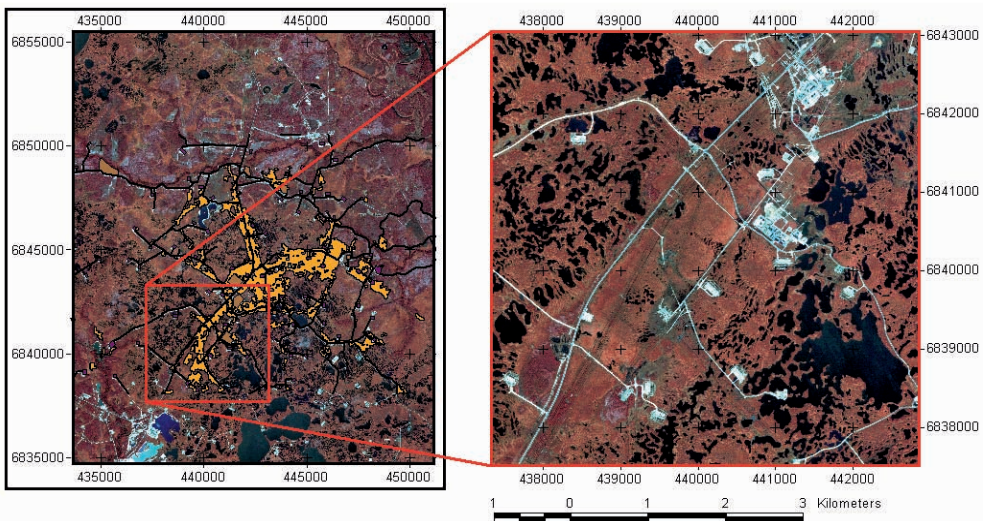


Abb. 3: Quickbird-Daten (RGB: 4-3-2) mit überlagerten Ground-Truth-Informationen (links), Subset des Untersuchungsgebietes (RGB: 4-3-2) (Projektion: UTM Zone 43, WGS 84; nicht atmosphärenkorrigiert).

Eigenschaften der Zielobjekte in eine Wissensbasis als Grundlage der objektorientierten Analyse der Bilddaten zur Kartierung der Oil Spills folgt im zweiten Teil.

Als Untersuchungsgebiet dient ein 6 km<sup>2</sup> großes Subset der multispektralen Quickbird-Daten, in dem Tundrenlandschaften mit weitläufigen Seengebieten durch die Ölförderung und deren negativen Folgen überprägt sind (Abb. 3).

#### 4.1 Konzeptionelles Modell des Untersuchungsgebietes

Zur Förderung und Verarbeitung von Erdölen befinden sich im Untersuchungsgebiet neben zwei großen Raffinerien zahlreiche kleine Bohrstationen, die an ein ausgedehntes

Straßennetz angeschlossen sind. Der Verlauf der Pipelines, welche sich vorwiegend parallel zum Straßenverlauf befinden, ist zwar zu erkennen, eine geometrisch Auflösung von 2,5 m der Bilddaten verhindert jedoch, die Pipelines separat zu detektieren. Die Folgen von Leckagen und Brüchen der Pipelines sind dennoch in direkter Nähe zur Straße durch abgestorbene Vegetation und dunkle Oberböden deutlich erkennbar (Abb. 4/A). Eine solche räumliche Abhängigkeit der Ölverschmutzungen ist ebenfalls zu Bohrstationen und einigen industriellen Anlagen zu verzeichnen. Bei der visuellen Analyse ist dabei eine klare hierarchische Ordnung der Ausweitung der Folgen der Ölkontaminationen zu erkennen. In der Umgebung von Straßen sind die geringsten Aus-

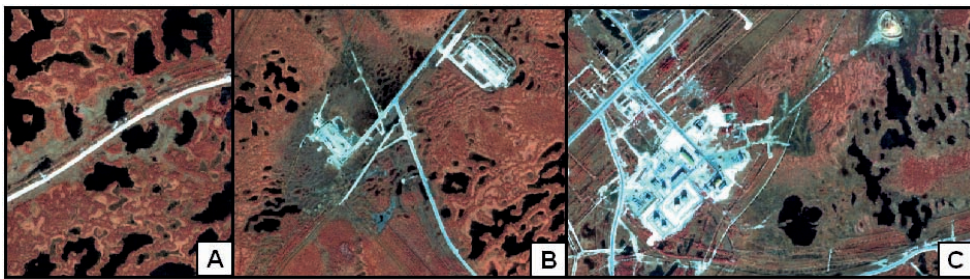


Abb. 4: Räumliche Ausdehnung der Folgen von Ölverschmutzung in der Nähe verschiedener industrieller Objekte (A: Straße; B: Bohrstation; C: Industrieanlage) (RGB: 4-3-2).

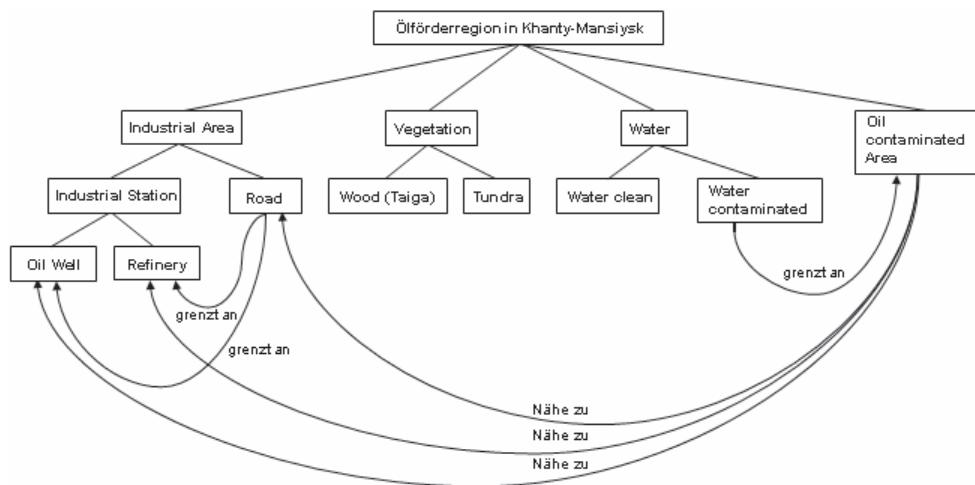


Abb. 5: Konzeptionelles Modell zur Analyse von mit Öl verunreinigten Oberflächen in der Ölförderregion Khanty-Mansiysk.

dehnungen zu verzeichnen (Abb. 4/A), rund um Bohrstationen deutlich größere (Abb. 4/B) und in der Umgebung von industriellen Anlagen die am weitesten ausgedehnten (Abb. 4/C). Dies impliziert einen kausalen Zusammenhang zwischen der Größe des Industrieobjektes und der Ausweitung der Ölverschmutzung in dessen Umfeld.

Ein weiterer räumlicher Zusammenhang besteht zwischen ölkontaminierten Flächen und angrenzenden Gewässern (s. Abb. 4/C). Mit hoher Wahrscheinlichkeit kann von einem Öleintrag von der Oberfläche oder aus der Bodenzone der verschmutzten Landfläche in die angrenzenden Seen ausgegangen werden. Rein spektral lassen sich solche potentiell ölkontaminierten Gewässer von sauberen Seen aber kaum unterscheiden. Aus der visuellen Analyse wurden die acht Zielobjekte *Oil Well*, *Refinery*, *Road*, *Wood (Taiga)*, *Tundra*, *Water clean*, *Water contaminated* und *Oil contaminated Area* des Untersuchungsgebietes definiert und zu einem konzeptionellen Modell verknüpft (Abb. 5).

Im Anschluss erfolgte die Aufarbeitung der spezifischen Eigenschaften der Zielobjekte, um auf deren Grundlage die Auswahl der Parameter für eine Klassenhierarchie (Wissensbasis) zur Extrahierung der Zielobjekte zu treffen.

Natürliche Überlappungsbereiche zwischen Vegetation (*Vegetation*) und den spektral sehr vielfältig erscheinenden ölverschmutzten Gebieten (*Oil contaminated Area*) bedingten Probleme bei der Festlegung scharfer Grenzwerte der Reflektanzen zur Abgrenzung beider Zielobjekte. Ebenso ergaben sich Überlappungen der Signaturen der ölkontaminierten Bereiche (*Oil contaminated*) mit Randbereichen von Wasserflächen (*Water*) und Gewässern mit geringem Wasserstand, in denen der Boden zum spektralen Signal beiträgt.

#### 4.2 Objektorientierte Analyse des Untersuchungsgebietes

Die Übertragung (Implementierung) des konzeptionellen Modells unter Verwendung der Eigenschaften und räumlichen Zusam-

menhänge der Zielobjekte des Untersuchungsgebietes in eine Wissensbasis (Klassenhierarchie) zur Extrahierung der ölkontaminierten Flächen ist Ziel der objektorientierten Analyse.

Da sich ölkontaminierte Flächen durch spektrale Überlappungen radiometrisch nicht klar von den restlichen Objekten im Bild trennen lassen, ist es Aufgabe des methodischen Ansatzes, den kausalen Zusammenhang zwischen ölverschmutzten Gebieten und deren Nähe zu industriell genutzten Objekten (*Road*, *Oil Well*, *Refinery*) in die objektorientierte Analyse zu integrieren.

#### Segmentierung der Bilddaten

Die Segmentierung der Bilddaten erfolgt auf zwei Segmentierungsebenen. Ein *Scale Parameter* von 10 und die Gewichtung der Farbhomogenität von 0.8 ermöglichten es im Base Level durch Bildung kleiner Segmente, ölverseuchte Bereiche räumlich und radiometrisch von anderen Objekten zu trennen. Im übergeordneten Level wird durch einen hohen *Scale Parameter* von 25 und die Gewichtung der Formhomogenität von 0.9 die gegenseitige Abgrenzung der Objekte *Road*, *Oil Well* und *Refinery* nach Form- und Größenmerkmalen vollzogen.

#### Extrahierung der industriellen Objekte

Nach Segmentierung der Bilddaten bildet die Extrahierung und gegenseitige Abgrenzung der industriellen Objekte Straße (*Road*), Bohrstation (*Oil Well*) und Raffinerie (*Refinery*) auf der zweiten Segmentierungsebene (Top Level) den ersten Teilschritt der objektorientierten Verarbeitung. Der Klassenhierarchie liegt dabei das entwickelte konzeptionelle Modell zugrunde. Die Parameterauswahl zum Aufbau dieser Klassenhierarchie basiert auf den spezifischen Eigenschaften der Zielobjekte (Abb. 6).

Die Trennung der industriell genutzten Objekte (*Industrial Area L2*) von den restlichen Bildbereichen ist durch spektrale Unterschiede im blauen Kanal gegeben, da In-

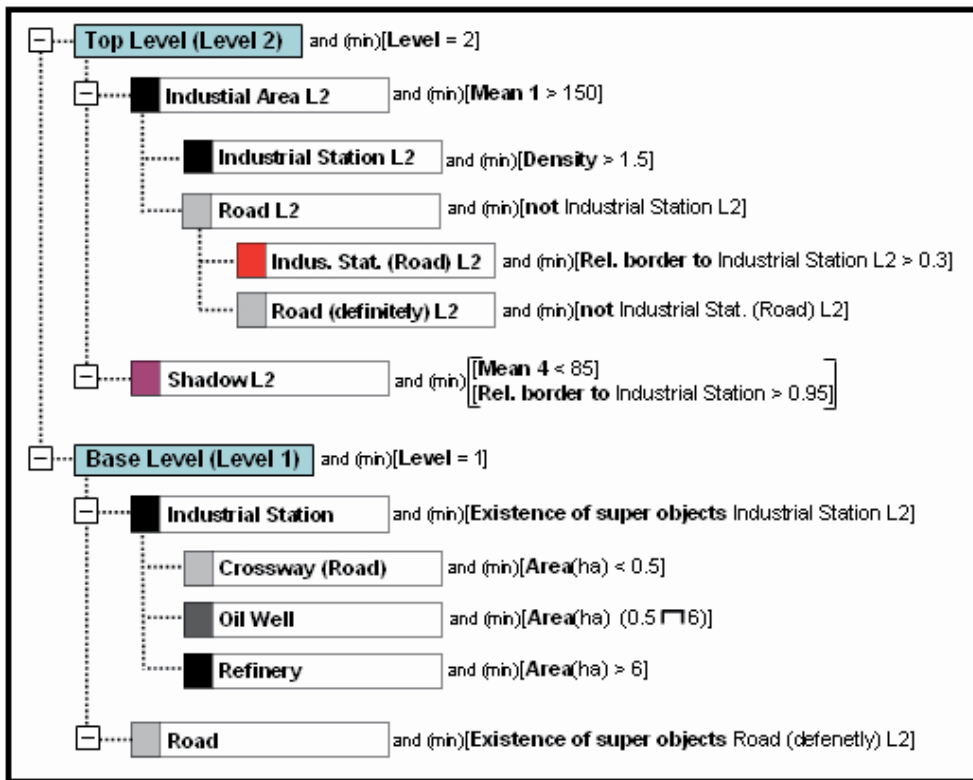


Abb. 6: Klassenhierarchie zur Extraktion der industriellen Objekte.

dustrieobjekte im Untersuchungsgebiet durch deutlich höhere Reflektanzen in diesem Spektralbereich charakterisiert sind.

Definiens Professional bietet durch den Formparameter *Density* die Möglichkeit, die kompakten großflächigen Industrieanlagen (*Industrial Station L2*) von den langen und schmalen Straßen (*Road L2*) abzugrenzen. Segmente, die aufgrund ihrer länglichen Form durch Unterschreiten des Schwellwertes der *Density* als Straße (*Road L2*) klassifiziert wurden, jedoch Industrieanlagen (*Industrial Station L2*) zuzuordnen sind, können durch ihre hohe Angrenzung (*Relative border to Industrial Station L2* < 0.3) an diese von tatsächlichen Straßensegmenten (*Road (definitely) L2*) differenziert werden und sind als angrenzende Industrieobjekte (*Industrial Station (Road) L2*) ausgewiesen.

Aufgrund der kompakten Struktur werden Segmente, welche Straßenkreuzungen

(*Crossway (Road)*) repräsentieren, als Industrieanlagen (*Industrial Station L2*) klassifiziert. Die spezifische Trennung erfolgte bei der Trennung der industriellen Objekte im Base Level.

Schattenflächen werden durch ihre Eingeschlossenheit von umliegenden Industrieobjekten extrahiert.

Der Zusammenschluss von Segmenten (*Mergen*) der Klassen *Shadow L2* und *Industrial Station (Road) L2* mit den Segmenten der Klasse *Industrial Station L2* führt zur Bildung von Objekten, die in Form und Größe die industriellen Anlagen genau erfassen. Nach Übernahme der fusionierten Objekte *Industrial Station L2* in das darunter liegende Base Level durch die Verwendung von klassenbezogenen Merkmalen können die industriellen Anlagen (*Industrial Station*) je nach Größe in Straßenkreuzungen (*Crossway (Road)*), Bohrstationen (*Oil*

Well) und Raffinerie (*Refinery*) unterschieden werden. Ebenso erfolgt die Übernahme der extrahierten Straßenobjekte in das Base Level.

### Klassifikation der ölkontaminierten Flächen

Die Öl kontaminierten Flächen lassen sich zwar räumlich auf die Umgebung der extrahierten industriellen Anlagen und Straßen eingrenzen, die Trennung von Vegetation und Wasserflächen ist jedoch nur durch radiometrische Merkmale möglich. Aufbauend auf der bereits bestehenden Wissensbasis zur Extrahierung der Industrieanlagen (*Industrial Area*) und Straßen (*Roads*) ist die Klassenhierarchie zur Detektierung der restlichen Zielobjekte im Base Level entwickelt (Abb. 7).

Für den Aufbau dieser Klassenhierarchie wird eine *Eliminations*-Strategie verfolgt, bei der Objektklassen schrittweise ausgeschlossen werden, um ein Zielobjekt zu definieren. Durch das Prinzip der Vererbung wird eine zunehmende Konkretisierung dieser Zielobjekte in abgeleiteten Unterklassen ermöglicht. Der Vorteil der *Eliminations*-Strategie im Vergleich zu anderen Verfahren liegt im logisch strukturierten Aufbau der Klassenhierarchie (HOFMANN 2001: 88).

In der ersten Klassifikationsebene wird Vegetation (*Vegetation*) durch einen Schwellwert des NDVI von 0,325 von anderen Bildobjekten (*Not Vegetation*) getrennt.

Die Festlegung des Schwellwertes erfolgte durch visuelle Analyse und Interpretation der Bilddaten wodurch eine direkte Übertragbarkeit auf andere Bilddaten nur bedingt möglich ist.

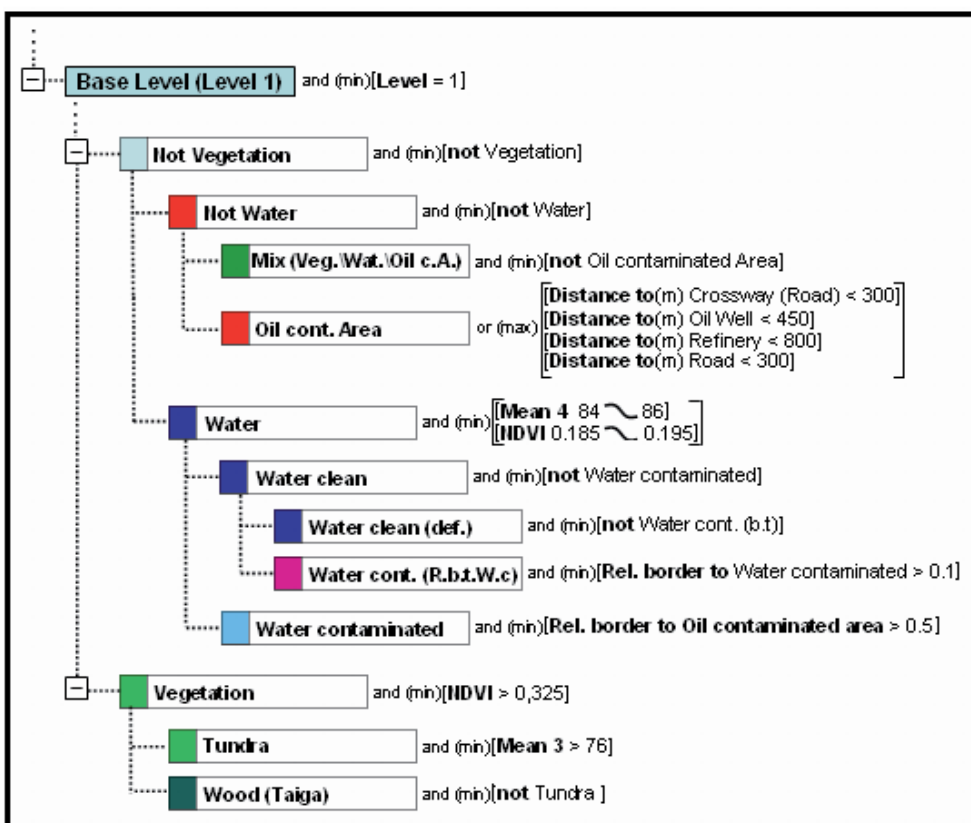


Abb. 7: Klassenhierarchie zur Klassifizierung der Öl kontaminierten Flächen.



*Not Vegetation* umfasst neben Gewässern (*Water*) auch mögliche ölverschmutzte Landflächen, die als Klasse *Not Water* definiert und in der zweiten Klassifikationsebene differenziert werden. Eine klare radiometrische Abgrenzung beider wird durch spektrale Überlappungsbereiche verhindert. Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen des NDVI und des vierten Spektralbandes (NIR) ermöglichen es, diesen unsicheren Zusammenhang zu beschreiben. Instanzen der Klasse *Not Water* erben dementsprechend die Merkmale der Bildobjekte, die nicht als Vegetation und nicht als Wasserflächen klassifiziert wurden. In Anlehnung an das konzeptionelle Modell erfassen diese Bildobjekte somit faktisch ölkontaminierte Flächen (*Oil contaminated Area*), da die Zugehörigkeit zu Vegetation und Gewässern ausgeschlossen wurde.

Die dargelegten spektralen Überlappungen unterbinden jedoch eine eindeutige Ausweisung dieser Bildobjekte als ölkontaminierte Flächen über den gesamten Bildbereich. Die Umsetzung des vorgestellten Ansatzes führt durch Eingrenzung der potentiell ölverschmutzten Bereiche auf die Umgebung von Industrieanlagen und Straßen zur Minimierung möglicher Fehlklassifikationen durch radiometrische Überschneidungen. Dies bedingt die Aufgliederung der Klasse *Not Water* in ölkontaminierte Gebiete (*Oil contaminated area*) und weiter entfernte Überlappungsbereiche (*Mix (Veg.\ Wat.\ Oil c. A.)*), die allerdings nicht als ölverschmutzte Gebiete auszuweisen sind.

Im Untersuchungsgebiet gemessene Distanzen der Ausweitungen sind durch das klassenspezifische Merkmal *Distance to* in der Klassenhierarchie umgesetzt worden.

Der Fuzzy-Operator *or(max)* verknüpft die vier Eigenschaften als logische ‚oder-Beziehung‘ und gibt den höchsten Zugehörigkeitswert zurück, der im vorliegenden Zusammenhang die größte Distanz darstellt.

Bei der Ausweisung ölverschmutzter Wasserflächen (*Water contaminated*) wurde davon ausgegangen, dass Gewässer (*Water*) mit einer direkten Grenze zu ölkontaminierten Flächen (*Oil contaminated Area*) mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls verseucht

sind. Nach Fusionierung (*Mergen*) aller Segmente der Klasse *Water* sind die entstandenen Wasserflächensegmente (*Water*) bei einer Angrenzung von über 50 % als kontaminiert (*Water contaminated*) ausgewiesen worden. Da Referenzinformationen zur Wassergüte und zum Alter der angrenzenden Ölverschmutzungen nicht vorhanden sind, verhindert der verwendete Schwellwert von 50 % die unsichere Klassifizierung von Gewässern.

## 5 Ergebnisse und Diskussion

Das Ergebnis der aufgezeigten Methode hinsichtlich der Ausweisung ölkontaminierter Flächen ermöglicht die Quantifizierung der Ölverschmutzungen im Untersuchungsgebiet (Abb. 8). So wurden 17,5 % der Landfläche als kontaminiert klassifiziert. Zusammen mit den versiegelten Flächen der industriellen Objekte ist die direkt ausweisbare Schädigung auf fast ein Viertel (22,7 %) der Gesamtfläche anzugeben. Unter Annahme der verwendeten Kontexteigenschaft der Angrenzung an kontaminierte Landflächen sind verseuchte Wasserflächen auf 30 % zu schätzen.

Overlay-Analysen erlauben eine visuelle Beurteilung des Klassifikationsergebnisses, wobei eine hinreichend genaue Erfassung der Zielklassen festzustellen ist (Abb. 9).

Als Evaluierungsgrundlage zur quantitativen Beurteilung der Genauigkeit der ausgewiesenen ölkontaminierten Flächen (*Oil contaminated Area*) dienen die zur Verfügung stehenden Ground-Truth-Informationen russischer Experten. Eine zu geringe Genauigkeit der Daten unterband jedoch die direkte Auswahl der Evaluierungsflächen auf deren Basis (Abb. 9). Durch visuellen Abgleich mit den hoch aufgelösten Quickbird-Bilddaten wurden modifizierte Evaluierungsobjekte festgelegt.

Eine resultierende *Producer Accuracy* von 96 % sowie eine *User Accuracy* von 89 % der klassifizierten ölverschmutzten Gebieten (*Oil contaminated Area*) beschreiben die Güte des Verfahrens jedoch nur bedingt. Die nötige visuelle Interpretation der Bilddaten zur Auswahl der Evaluierungsob-

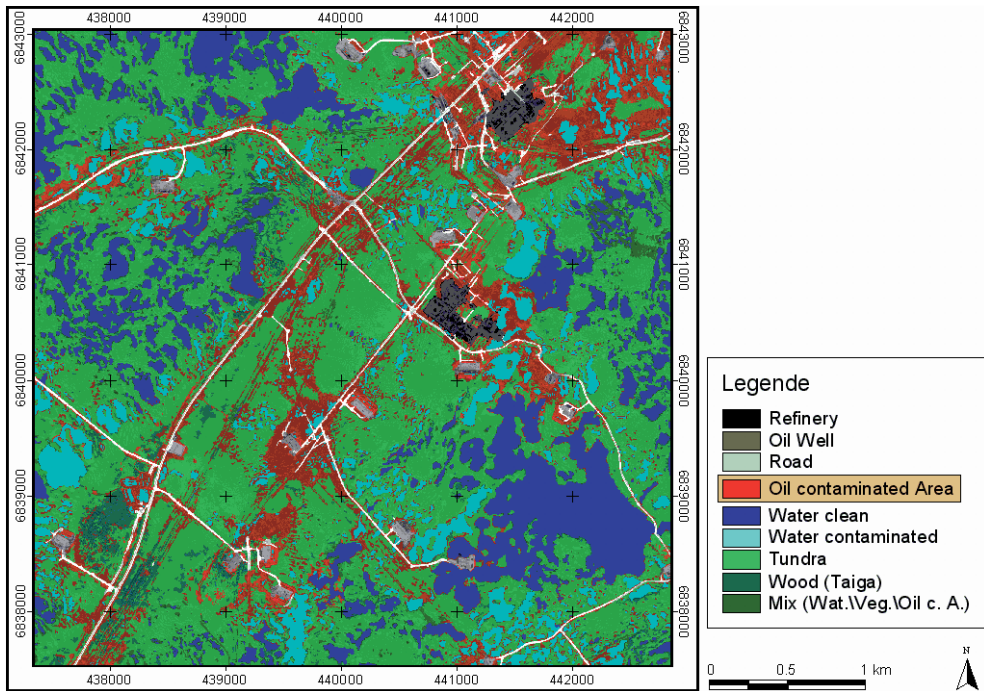


Abb. 8: Kartendarstellung des Klassifikationsergebnisses (Projektion: UTM Zone 43, WGS 84).

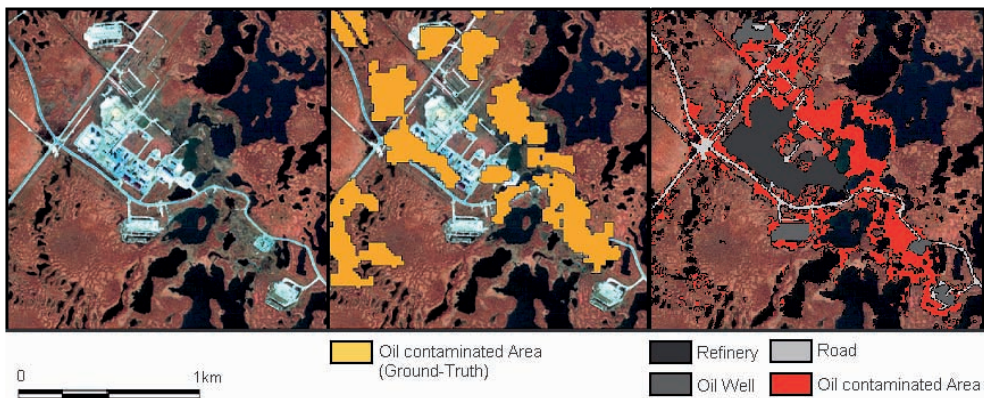


Abb. 9: Vergleich der Quickbird-Daten (RGB: 4-3-2) (links), Ground-Truth-Informationen (Mitte) und den überlagerten GIS-Layern der exportierten Zielklassen (rechts).

jekte verwehrt eine vollkommen objektive und somit qualitativ hochwertige Genauigkeitsanalyse. Grund hierfür waren die bereits erwähnten zu ungenauen Referenzdaten. Zum einen bestehen deutliche Diskrepanzen zwischen den geometrisch zu gering aufgelösten GIS-Informationen und den vi-

suell sichtbaren Verunreinigungen im Gebiet (Abb. 9), zum anderen lagen keine genauen Datierungen der ausgewiesenen Ölkontaminationen vor.

Da mit multispektraler Fernerkundung lediglich die Kartierung der durch Ölverschmutzungen resultierenden Vegetations-

schäden möglich ist und nur bedingt die Erfassung der Ölverunreinigungen selber, wären Informationen über die zeitliche Eingrenzung einzelner Ölverschmutzungen für die Evaluierung des entwickelten Verfahrens von hoher Relevanz. Ältere verunreinigte Flächen mit regenerierender Vegetation könnten folglich differenziert betrachtet werden. Im Rahmen des durch das IB des BMBF finanzierten Pilotprojektes OSCaR war die Erhebung solcher Daten sowie die Erfassung spezifischer Reflektionsspektren (z. B. Hyperspektral) innerhalb einer Geländekampagne nicht vorgesehen und finanziell nicht möglich. Die politischen Rahmenbedingungen in Russland sowie die geringe Toleranz der Ölkonzerne für die Kartierung der Ölverschmutzungen machen eine solche Geländekampagne außerdem schwer durchführbar, wodurch die zur Verfügung stehenden Kontaminationskartierungen wiederum als vergleichsweise hochwertige Informationen besonders zu schätzen sind.

Hinsichtlich der entwickelten Methode ist festzustellen, dass es sich als sinnvoll erwies, als Grundlage dieser objektorientierten Analyse ein vorher entwickeltes konzeptionelles Modell festgelegter Zielobjekte der ‚realen Welt‘ zu nutzen. Nach Erfassung der Eigenschaften der einzelnen Zielobjekte war es einfach möglich, sowohl die Parameter-einstellungen zur Segmentierung als auch eine Klassenhierarchie abzuleiten.

Die Integration von Kontextinformationen und geometrischen Eigenschaften (Form und Größe) neben radiometrischen Merkmalen zur Beschreibung von Objekten zu verwenden, ist als Hauptvorteil des aufgezeigten wissensbasierten, objektorientierten Analyseverfahrens (innerhalb der Toolbox Definiens Professional) gegenüber einem pixelbasierten Ansatz zu nennen.

Die zum Aufbau der Klassenhierarchie genutzt *Eliminations*-Strategie ermöglicht die einfache und logische Umsetzung des vorher entwickelten konzeptionellen Modells, ist jedoch anfällig für die Fortpflanzung von Fehlern (*error propagation*). ‚Instabile‘ Klassendefinitionen von Elternklassen (*parent class*) implizieren die Vererbung

potentieller Fehler durch die komplette Vererbungshierarchie.

Kritisch ist weiterhin anzumerken, dass die entwickelte Klassenhierarchie auf der Primärsegmentierung der Daten aufbaut, wodurch sich (mögliche) subjektive Inkorrektheiten der Parameterauswahl zur Segmentierung auf die nachfolgende Analyse der Bilddaten auswirken.

Durch den Export der einzelnen Zielklassen als GIS-Layer konnte das Potential der objektorientierten Bildanalyse in Bezug auf die Bereitstellung von GIS-Informationen aus räumlich hoch aufgelösten Fernerkundungsdaten verdeutlicht werden. Mittels multitemporaler Datenauswertung ermöglicht dies den Aufbau eines (möglichen) Monitoringsystems zur Überwachung der Ölverschmutzungen in West-Sibirien.

## Danksagung

Diese Arbeit entstand am Lehrstuhl für Fernerkundung des Institutes für Geographie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena im Rahmen des IB/BMBF teilfinanzierten Projektes OSCaR (Oil Spill Contamination mApping in Russia).

## Literatur

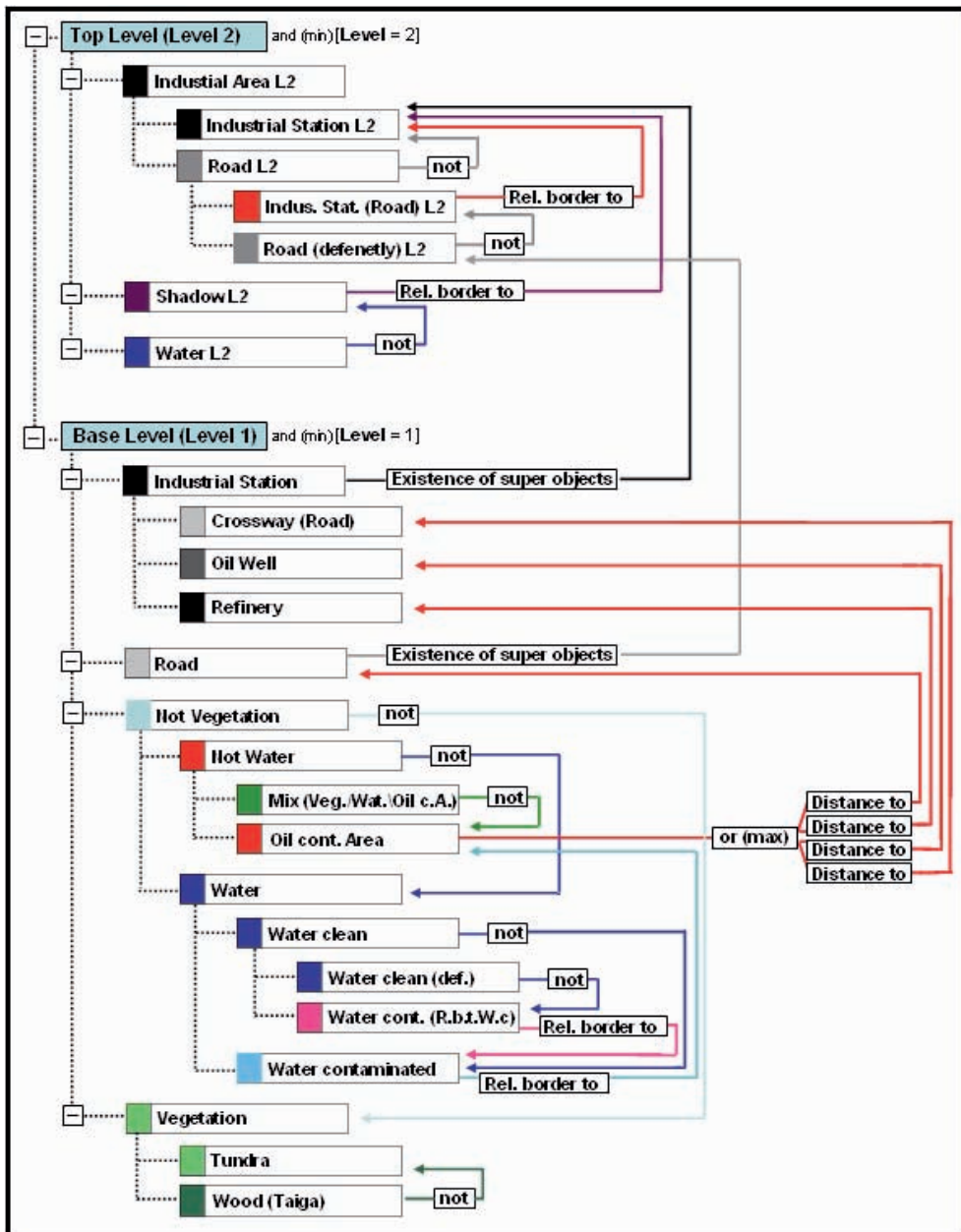
- BAATZ, M., BENZ, U., DEGHANI, S., HEYEN, M., HÖLTJE, A., HOFMANN, P., LINGENFELDER, I., MIMLER, M., SOHLBACH, M., WEBER, M. & WILLHAUCK, G., 2004: eCognition Professional: User Guide 4. Definiens AG, München.
- BABENKO, A., 2003: Development of Oil Industry and Soil Pollution in West Siberia. ([http://www.bodenkunde2.uni-freiburg.de/euro\\_soil/abstracts/id205\\_Babenko\\_full.pdf](http://www.bodenkunde2.uni-freiburg.de/euro_soil/abstracts/id205_Babenko_full.pdf)).
- BENZ, U.S., HOFMANN, P., WILLHAUCK, G., LINGENFELDER, I. & HEYEN, M., 2004: Multiresolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **58**: 239–258.
- BLASCHKE, T., 2000: Objektextraktion und regelbasierte Klassifikation von Fernerkundungsdaten: Neue Möglichkeiten für GIS-Anwender und Planer. – In: SCHRENK, M. (Hrsg.), 2000: CORP: Computergestützte Raumplanung, **5**, Wien.

- BUCK, A., DE KOK, R., SCHNEIDER, T., & AMMER, U., 1999: Integration von Fernerkundung und GIS zur Beobachtung und Inventur von Schutzwäldern in den Bayerischen Alpen. – In: STROBL, J. & BLASCHKE, T. (Hrsg.), 1999: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI, Wichmann, Heidelberg, 94–101.
- FINGAS, M., 2000: The Basics of Oil Spill Cleanup. – 2. Aufl., S. 233, CRC Press LLC, Canada.
- HESE, S. & SCHMULLIUS, C., 2006: High Resolution Oil Spill Mapping in West Siberia. – 57. Berg- und Hüttenmännischer Tag, Freiburger Forschungsforum 2006, Kolloquium 2, Geomonotoring in der Energie und Rohstoffwirtschaft mit Methoden der Fernerkundung, 21.–22. Juni 2006, Freiberg.
- HINTE, T.V., 2005: Managing Impacts of Major Projects: An Analysis of the Enbridge Gateway Pipeline Proposal. – M. R. M. research project 374, Simon Fraser University, Burnaby, BC. ([www.rem.sfu.ca/pdf/TimVanHinte.pdf](http://www.rem.sfu.ca/pdf/TimVanHinte.pdf)).
- HOFMANN, P., 2001: Detecting urban features from IKONOS data using an object-oriented approach. – Remote Sensing & Photogrammetry Society, Proceedings of the First Annual Conference of the Remote Sensing & Photogrammetry Society, 12.–14. September 2001: 28–33.
- Iwaco Report 2001: West Siberia Oil Industry Environmental and Social Profile, Final Report, edited by M. LODEWIJKX, V. INGRAM & R. WILLEMSE, June 2001. (<http://www.greenpeace.nl/raw/content/reports/west-siberia-oil-industry-envi.pdf>).
- NEUBERT, M. & MEINEL, G., 2002: Segmentbasierte Auswertung von IKONOS-Daten – Anwendung der Bildanalyse-Software eCognition auf unterschiedliche Testgebiete. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.), 2001: Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – Innovative Methoden. – 1. Aufl., S. 271, Wichmann Verlag, Heidelberg: 108–117.
- SCHIEWE, J., 2002: Segmentation of high-resolution remotely sensed data-concepts, applications and problems. – Proceedings of the Joint International Symposium on Geospatial Theory, Processing, and Applications, 9.–12. July, Ottawa, Canada: 6–11.
- WILLHAUCK, G., 2000: Comparison of object oriented classification techniques and standard image analysis for the use of change detection between SPOT multispectral satellite images and aerial photos. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Amsterdam, The Netherlands, **33**: 214–221.
- Worldbank (1994): Russian Federation – Second Oil Rehabilitation Project, Draft Environmental Impact Assessment, March 1994. ([http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/1994/03/01/000009265—3970702135243/Rendered/PDF/multi\\_page.pdf](http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/1994/03/01/000009265—3970702135243/Rendered/PDF/multi_page.pdf)).

#### Anschrift der Autoren:

B. Sc. Geogr. JOHANNES REICHE  
 Dr. SÖREN HESE  
 Prof. Dr. CHRISTIANE SCHMULLIUS  
 Abteilung Fernerkundung,  
 Institut für Geographie  
 Friedrich-Schiller-Universität Jena  
 Löbdergraben 32, D-07743 Jena  
 Tel.: 03641-948878, Fax: 03641-948882  
 e-mail: [johannes.reiche@uni-jena.de](mailto:johannes.reiche@uni-jena.de)  
[soeren.hese@uni-jena.de](mailto:soeren.hese@uni-jena.de)  
[c.schmullius@uni-jena.de](mailto:c.schmullius@uni-jena.de)

Manuskript eingereicht: Januar 2007  
 Angenommen: April 2007



Anhang 1: Schematische Darstellung der klassenbezogenen Merkmale der entwickelten Methode.