
Objektorientierte Analyse von RADARSAT-1-Daten in
Überflutungsgebieten am Beispiel eines Testgebietes in
Bangladesch

Diplomarbeit von:
Stefan Kühn

Technische Universität Dresden
Fakultät Forst-, Geo-, Hydrowissenschaften
Institut für Kartographie

Betreuer: Prof. Dr. Manfred Buchroithner / TU Dresden
Dr. Ursula Benz / Definiens AG

Dresden, den 30. Juni 2002

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Aufgabenstellung für die Diplomarbeit

Studiengang: Kartographie

Name des Diplomanden: Stefan Kühn

Thema: Objektorientierte Analyse von RADARSAT-1-Daten in Überflutungsgebieten am Beispiel eines Testgebietes in Bangladesch

Zielsetzung:

Im November 2001 kamen die für Raumfahrt verantwortlichen Minister der fünfzehn Mitgliedstaaten der Europäischen Weltraumorganisation sowie Kanadas in Edinburgh zusammen, um den künftigen Kurs für die Raumfahrt in Europa festzulegen. Dabei wurde das Erdbeobachtungsrahmenprogramm verabschiedet, welches die Bereiche Kartierung, Katastrophenwarnung und Sicherheit, usw. umfasst und außerdem den Anforderungen der GMES-Initiative entsprechen, die gegenwärtig von der Europäischen Kommission ausgearbeitet werden und vor allem den globalen Wandel, natürliche und vom Menschen verursachte Katastrophen, Umweltbelastung und die Überwachung der Einhaltung völkerrechtlicher Verpflichtungen betreffen.

Dabei kann die Nutzung von Radar-Satellitendaten sehr hilfreich sein, denn sie deckt auch Bereiche ab, die der optischen Fernerkundung in Schlechtwetterperioden verschlossen bleiben. Das objektorientierte Bildanalyseprogramm eCognition unterstützt die operationale Klassifizierung von Bilddaten, verschiedener Auflösung und Qualität. Dabei können sowohl Raster- als auch Vektordaten die Datengrundlage bilden. Durch intelligente Steuerung der Segmentierung und Beschreibung der Objekte lassen sich durch die Klassifizierung aktuelle und qualitativ hochwertige Informationen gewinnen.

Im Rahmen der Diplomarbeit soll eine Analyse der möglichen Nutzbarkeit von RADARSAT-Daten im Raum Bangladesch durchgeführt werden. Hierzu wurde ein multitemporaler (18.August, 11.September., 5.Oktober 2001) Datensatz des RADARSAT-1 (Beam mode: „SAR STANDARD 5“) von der Firma Radarsat International in Kanada zur Verfügung gestellt. Sie zeigen den Südwesten des Landes, die Region um die Stadt Khula an.

Insbesondere sind von Interesse:

- Die Akquisition zusätzlicher Geodaten über das Gebiet und Aufbereitung für die Nutzung in eCognition.
- Entwickeln einer Strategie für effiziente Ableitung von Informationen aus den RADARSAT-Daten
- Auswertung der Vorteile und Nachteile, bei der Nutzung von Zusatzinformationen
- Diskussion der Möglichkeiten für den Transfer der entwickelten Strategie

Die Ergebnisse der Diplomarbeit sind in einer gemeinsamen Veröffentlichung von Definiens AG und Radarsat International zusammenzufassen, welche bei der Verteidigung vorzulegen ist.

Betreuer: Prof. Dr. M. Buchroithner (TU-Dresden), Dr. U. Benz (Definiens AG)

Ausgehändigt am: 1. Januar 2002

Einzureichen am: 30. Juni 2002

Prof. Dr. Manfred Buchroithner
Prüfungsausschuß

Betreuender Hochschullehrer

SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, dass ich die von mir am heutigen Tage der Diplomkommission der Fachrichtung Geowissenschaften eingereichte Diplomarbeit zum Thema

“Objektorientierte Analyse von RADARSAT-1-Daten in Überflutungsgebieten am Beispiel eines Testgebietes in Bangladesch“

vollkommen selbstständig und nur unter Benutzung der in der Arbeit angegebenen Literatur angefertigt habe.

Stefan Kühn

Dresden, den 30. Juni 2002

*So eine Arbeit wird eigentlich nie fertig,
man muss sie für fertig erklären,
wenn man nach Zeit und Umständen
das Mögliche getan hat.*

Johann Wolfgang von Goethe

DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank gilt Dr. Ursula Benz, die durch ihr persönliches Engagement und die wissenschaftliche Betreuung seitens der Firma Definiens wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beitrug.

Bei Prof. Dr. Manfred Buchroithner möchte ich mich für die Betreuung und die unproblematische Klärung der organisatorischen Fragen seitens der Technischen Universität Dresden bedanken. Danksagen möchte ich auch Dr. Nikolas Prechtel, der mir durch seine fachlichen Ratschläge und die Durchsicht dieser Arbeit sehr geholfen hat.

Für die zahlreichen Tipps und wertvollen Anregungen möchte ich mich bei Jeff Hurley von Radarsat International in Kanada und allen nicht namentlich genannten Mitarbeiter der Firma Definiens bedanken. Für die Bereitstellung von Fotomaterial aus dem Testgebiete danke ich ganz herzlich Andreas Hefti.

Des weiteren möchte ich Ivonne Anders, Kerstin Ebert, Jana Mendrock und Olaf Schnabel danken, deren konstruktive Kritik des Manuskripts wertvolle Anregungen für die Arbeit gaben.

Abschließend möchte ich meinen Eltern für ihren Zuspruch und ihre Unterstützung während meines Studiums herzlichsten Dank aussprechen.

Stefan Kühn

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung.....	8
1.1. Einführung.....	8
1.2. Zielsetzung der Arbeit.....	8
1.3. Gliederung der Arbeit.....	9
1.4. Charakterisierung des Untersuchungsgebietes.....	9
2. Theoretische Grundlagen und Stand der Forschung.....	14
2.1. Radarfernerkundung.....	14
2.1.1. Grundlagen.....	14
2.1.2. RADARSAT-1.....	16
2.2. Klassifizierung.....	19
2.2.1. Pixelorientierten Klassifizierung.....	20
2.2.2. Objektorientierte Klassifizierung.....	20
2.2.3. Pixel- versus Objektorientierte Klassifizierung.....	21
2.3. Naturkatastrophen – Überschwemmungen.....	22
3. Die objektorientierte Bildanalysesoftware eCognition.....	26
3.1. Einführung.....	26
3.2. Bildung eines hierarchischen Netzwerkes.....	27
3.3. Klassifizierung mit eCognition.....	30
3.4. Genauigkeitsbewertung.....	33
3.5. Export-Möglichkeiten.....	34
4. Datengrundlage und digitale Vorverarbeitung.....	35
4.1. Datengrundlage.....	35
4.2. Speckle-Filterung von Radarbildern.....	35
4.3. Geokodierung der Satellitenbilder.....	37
5. Akquisition und Aufbereitung von zusätzlichen Geodaten.....	39
5.1. Daten des ASTER-Sensors.....	39
5.1.1. Einführung.....	39
5.1.2. Akquisition der ASTER-Daten.....	41
5.1.3. Aufbereitung der ASTER-Daten.....	42
5.2. UNEP/GRID Datensatz.....	44
5.2.1. Einführung.....	44
5.2.2. Akquisition des UNEP/GRID Datensatzes.....	44
5.2.3. Aufbereitung des UNEP/GRID Datensatzes.....	45
5.3. LandScan 2000.....	45

5.3.1. Einführung	45
5.3.2. Akquisition der LandScan 2000 Daten.....	46
5.3.3. Aufbereitung der LandScan 2000 Daten	46
5.4. Topographisches Kartenmaterial der Region	47
5.4.1. Russische Generalstabskarten.....	47
5.4.2. Internationale Weltluftfahrtkarte	48
5.4.3. Karten der Marine der U.S.A.....	48
5.4.4. Karten im Internet.....	49
6. Modulare Klassifikationsstrategie.....	52
6.1. Einführung	52
6.2. Auswahl des Testgebietes.....	54
6.3. Klassifizierung von Wasserflächen	57
6.3.1. Erstellen der Layer für Überflutungsgebiete	57
6.3.2. Erstellen der Layer für die permanenten Wasserflächen	61
6.4. Klassifizierung von Siedlungsgebieten	62
6.5. Klassifizierung von Mangrovegebieten.....	64
6.6. Fusion der Daten von RADARSAT-1 und ASTER	66
6.7. Fusion der Daten von RADARSAT-1 und LandScan 2000.....	68
7. Beurteilung der Ergebnisse.....	69
7.1. Genauigkeitsanalyse	69
7.2. Übertragbarkeit der Strategie.....	71
7.3. Vor- und Nachteile bei der Nutzung von Zusatzinformationen	74
8. Zusammenfassung und Ausblick.....	76
8.1. Zusammenfassung	76
8.2. Ausblick.....	77
Abbildungsverzeichnis.....	78
Tabellenverzeichnis.....	80
Abkürzungsverzeichnis	81
Literaturverzeichnis	82
Quellen im Internet.....	84
Anhang.....	87

1. EINLEITUNG

1.1. Einführung

Die moderne Kartographie ist heutzutage mit vielen ihrer Nachbarwissenschaften sehr stark verschmolzen. Ein Fachmann dieses Gebietes muss sich auch mit Fragen der Fernerkundung, Photogrammetrie und Informatik beschäftigen. Die Aufgabenstellungen werden immer komplexer und sind nicht mehr nur durch die Kenntnisse aus einem einzigen Spezialgebiet lösbar. Es müssen praktikable Lösungen gefunden werden, die sich aus einer Verschmelzung der einzelnen Teilgebiete ergeben.

Für die Kartenerstellung sind die Fernerkundung und die Photogrammetrie durch ihre vielseitig nutzbaren Luftbilder und Satellitenaufnahmen zu einem festen Bestandteil der Informationsgewinnung geworden. Mussten früher Geodäten und Kartographen das Gelände direkt vermessen und kartieren, ist es heute möglich, eine Vielzahl von Aufgaben durch die Erkundung aus der Luft oder dem Weltall zu lösen. Weltweit arbeitet man daran, immer effizientere, schnellere und billigere Systeme zu entwerfen, die auf einzelne oder mehrere Aufgaben spezialisiert sind.

Dabei dringt auch die Informatik tief in die einzelnen Fachgebiete ein. Im Bereich der Kartographie findet man nur noch wenige Aufgabenfelder, die ohne die Unterstützung von Computern auskommen. Ob nun bei der Bildanalyse, der Redaktion von großen Kartenwerken oder der digitalen Belichtung von Filmen, überall gibt es Softwarepakete, die den Benutzer bei seiner Arbeit unterstützen. Dabei ist es wichtig, dass bei der Entwicklung von diesen Softwarepaketen das Fachwissen der einzelnen Disziplinen einfließt, denn nur so können wirklich nützliche und fundierte Anwendungen entstehen.

1.2. Zielsetzung der Arbeit

Das Hauptziel dieser Arbeit besteht darin, eine Strategie zu entwickeln, die es ermöglicht, mit Hilfe von objektorientierter Bildanalyse effizient Informationen aus RADARSAT-1-Daten abzuleiten.

Diese Aufgabenstellung entstand aus einer Kooperation der kanadischen Firma Radarsat International und der deutschen Firma Definiens. Die Firma Radarsat International vertreibt weltweit die Daten des kanadischen Satelliten RADARSAT-1. Dabei werden sowohl Rohdaten als auch geokodierte Satellitenbilder verkauft. Für die Aufbereitung der Rohdaten

werden verschiedenste Verfahren angewandt, um die Endprodukte den Wünschen der Kunden entsprechend immer besser anzupassen. Die Firma Definiens hat ihrerseits im Oktober 2000 ein neuartiges Klassifizierungswerkzeug auf den Markt gebracht, welches mit Hilfe objektorientierter Bildanalyse neue Maßstäbe in der digitalen Bildauswertung setzt.

Diese Arbeit soll dazu beitragen, den Mehrnutzen durch die Einführung der objektorientierten Bildanalyse bei Radardaten aufzuzeigen und damit den Weg für eine Zusammenarbeit beider Firmen zu ebnen.

Für die Firma Definiens war es weiterhin wichtig zu zeigen, dass die Einbeziehung von zusätzlichen Geodaten in den Klassifikationsprozess eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Ergebnisse darstellt. Es erfolgt eine Auswertung der Vor- und Nachteile bei der Nutzung von Zusatzinformationen und eine Diskussion der Möglichkeiten für den Transfer der entwickelten Strategie.

1.3. Gliederung der Arbeit

Nach der im nächsten Abschnitt folgenden Charakterisierung des Untersuchungsgebietes, schließt sich eine Einführung in die theoretischen Grundlagen und den Stand der Forschung an. Dabei sollen insbesondere die Themen Radarfernerkundung, Klassifikation und Naturkatastrophen speziell die Überschwemmungen näher behandelt werden. Danach wird ausführlich die objektorientierte Bildanalysesoftware eCognition vorgestellt werden. Diesem Kapitel folgt eine Beschreibung der Datengrundlage und ihrer digitalen Vorverarbeitung in diesem Projekt. Die Beschaffung und Aufbereitung zusätzlicher Geodaten füllen ein eigenes Kapitel. Den größten Teil der Arbeit nimmt die Erläuterung der Klassifikationsstrategie sowie der daran anschließenden Beurteilung der Ergebnisse ein. Abschließend wird noch eine Zusammenfassung und Ausblick gegeben.

1.4. Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

Die Firma Radarsat International betreibt umfangreiche Forschungsarbeiten in Bangladesch. Auf Grund dessen sollte für die Kooperation mit der Firma Definiens im Rahmen der Diplomarbeit das Untersuchungsgebiet in diesem Land liegen. Die von Radarsat International zur Verfügung gestellten Bilddaten des Satelliten RADARSAT-1 grenzen das Gebiet noch genauer ein. Die Aufnahmen decken das Gebiet zwischen dem 22. und 23. Grad nördlicher Breite sowie dem 89. und 90. Grad östlicher Länge fast vollständig ab. Dort erstreckt sich ein großer Teil des Südwestens Bangladeschs und ein Teil vom östlichen Nachbarland Indien (Abbildung 1).

Das erst 1971 gegründete Land Bangladesch zählt zu den ärmsten Ländern der Welt. Mit einem Bruttosozialprodukt von 1 570 US-Dollar je Einwohner im Jahre 2000 liegt es weit hinter den Industriestaaten wie zum Beispiel Deutschland mit 23 400 US-Dollar [W-CIA02].



Abbildung 1: Karte von Bangladesch mit gekennzeichnetem Untersuchungsgebiet [W-DCW02]

Der Name Bangladesch bedeutet in der Landessprache „Die Flüsse sind die Mütter des Landes“ [HOR97]. Das beschreibt den Fluch und Segen dieses Landes sehr treffend. Die drei großen Flüsse Ganges, Brahmaputra und Meghna bilden hier das größte Delta der Erde, noch vor denen des Amazonas, Nils oder Mississippi. Der Ganges kommt vom Nordwesten aus dem Nachbarland Indien und vereint die Schmelzwasser des westlichen Himalajas mit Ausnahme des Indus, der durch Pakistan seinen Weg zum arabischen Meer findet. Der Brahmaputra fließt aus den nördlich angrenzenden Gebieten Indiens ebenfalls in das Land hinein. Er sammelt in sich die meisten aus dem östlichen Himalaja kommenden Flüsse. Der Meghna entwässert im Nordosten die dortigen kleineren indischen Gebirgszüge und schwillt

ebenfalls zu erstaunlicher Größe an. Die beiden Hauptströme des Ganges und Brahmaputra treffen sich zirka 60 km westlich der Hauptstadt Dhaka, etwa 50 km südlich stößt der Meghna dazu und alles ergießt sich in ein riesiges, verschlungenes Mündungsdelta, um schließlich im Golf von Bengalen in den Indischen Ozean zu fließen.

Im Südwesten dieses ausgedehnten Deltas liegen die Sundarbans, eine Mangrovenlandschaft, die durch ihre von Menschenhand fast unberührte Natur gekennzeichnet ist. Die dortigen Gewässer sind durch ein weit verzweigtes Netz aus Mündungs- und Altwasserarmen, sowie zahlreichen Inseln gekennzeichnet und bieten dem Bengalischen Tiger eines der letzten Rückzugsgebiete. In dem vom Flachland gekennzeichneten Bangladesch findet man nur im äußersten Osten und Südosten sowie im Nordwesten Hügel und Berge. Dabei ist der höchste Gipfel mit 1 230 m der Keokradong in den Chittagong-Bergen, östlich der gleichnamigen Hafenstadt [DLL99].

Nach CLASSEN [CLA93] liegen 80 % der gesamten Landesfläche in der Schwemmlandebene der drei Hauptströme und erheben sich nur wenige Meter über den Meeresspiegel. Bei einem steigenden Wasserspiegel ist die Mehrheit der Einwohner direkt von den Überflutungen betroffen.

Tabelle 1: Todesopfer in Bangladesch durch Überschwemmungen und Zyklone (Auswahl) [CLA83][MRV00]

Monat	Jahr	Todesopfer
November	1970	500 000
Mai	1975	303
November	1977	15 000
November	1978	914
Mai	1985	151 069
August	1987	2 550
August	1988	3 000
April	1991	150 000
August	1993	2 953
August	1998	4 750
August	1999	585

ISLAM & KAMAL [ISK93] betonen, dass zwischen 1954 und 1992 Bangladesch 29 Überschwemmungen erlebte, wovon elf schwerer und fünf katastrophaler Natur waren (Tabelle 1). Während normale Fluten rund 20 % des Landes überschwemmen, waren bei

schweren Überschwemmungen wie zum Beispiel 1987 und 1988 zirka 40 bis 60 % unter Wasser. Die Schäden bezifferten sich auf rund 1,2 Milliarden US Dollar und von den damals 110 Millionen Einwohnern waren zirka 28,5 Millionen Menschen direkt betroffen. Um solche Katastrophen in Zukunft zu vermeiden, entwickelte die Regierung und internationale Entwicklungsorganisationen einen Flutaktionsplan (FAP). Dabei kann natürlich nicht von heute auf morgen ein umfassender Katastrophenschutz aufgebaut werden. Vorbildfunktion könnte zum Beispiel die Niederlande sein, die seit mehreren Jahrhunderten einen intensiven Hochwasserschutz betreibt.

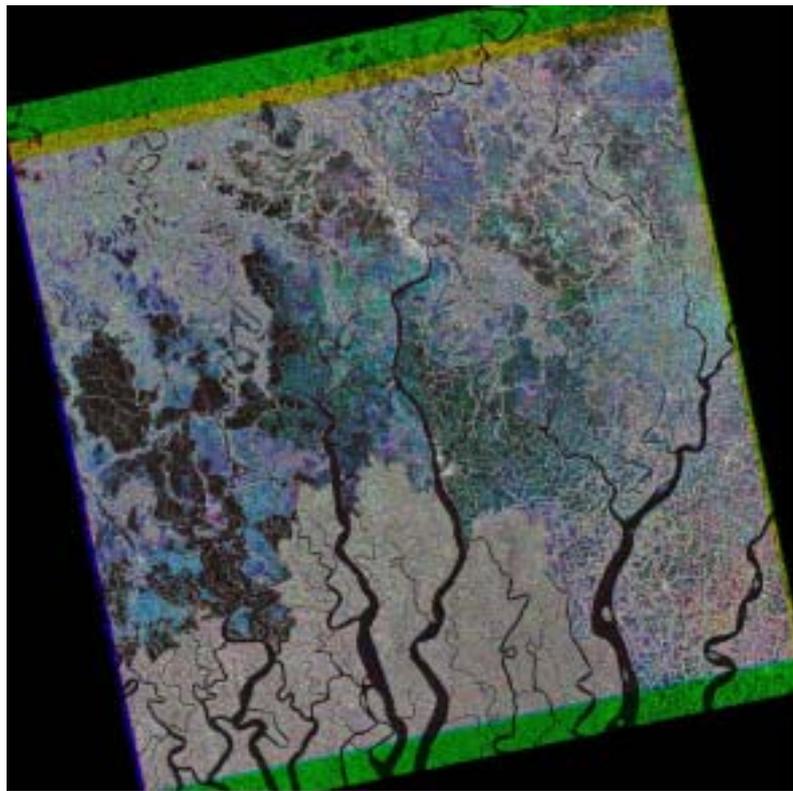


Abbildung 2: RADARSAT-1 Falsch-Farben-Komposit von drei zeitlich verschiedenen Aufnahmen
Rot = 18. August 2001, Grün = 11. September 2001, Blau = 5. Oktober 2001

Mit einer Fläche von 134 000 km² ist Bangladesch nicht einmal halb so groß wie Deutschland. Die heute rund 131 Millionen Einwohner machen es zu einem der am dicht besiedelsten Länder der Erde [W-CIA02]. Dabei gliedert sich das asiatische Land in fünf große Provinzen, die jeweils nach ihrer Regionalhauptstädten benannt sind, Chittagong im Osten, Dhaka im Norden, Rajshahi im Nordosten, Barisal im Süden und Khulna im Südwesten. Die Stadt Dhaka ist Hauptstadt und größtes Ballungsgebiet des Landes.

Die Provinz Khulna hat eine Nord-Süd Ausdehnung von zirka 150 km und eine Ost-West Ausdehnung von etwa 60 km. Keiner der Hauptarme der drei großen Ströme fließt direkt

durch diese Provinz. Trotzdem findet man in ihr zahlreiche Mündungsarme und Flussläufe von bis zu einem Kilometer Breite. Der gesamte Anteil Bangladeschs an den Sundarbans, dem Mangrovenwäldern an der Küste, befindet sich im Süden der Provinz Khulna und bedeckt rund 25 % der Provinzfläche. In diesen Mangroven werden die Flüsse auch teilweise deutlich über einen Kilometer breit, wobei man dort die Grenze zwischen Fluss und Meer nur schlecht bestimmen kann. Durch die von den Flüssen herangeführten Schlammmassen und die Gezeiten des Meeres ändern sich Lage und Größe der Wasserläufe und Inseln ständig.

Das in Abbildung 2 dargestellte Falsch-Farb-Komposit zeigt fast 50 % der Provinz Khulna. Deutlich zu erkennen sind die Sundarbans im Süden und die überfluteten Gebiete im Osten.

2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND STAND DER FORSCHUNG

2.1. Radarfernerkundung

2.1.1. Grundlagen

Der Sammelbegriff Radar steht für die Anfangsbuchstaben der englischen Bezeichnung „**R**adio **D**etection **A**nd **R**anging“ (Funkermittlung und –entfernungsmessung). Die Fernerkundung nutzt dabei zur Erkennung und Unterscheidung von Objekten die Intensität zurückgestreuter oder emittierter Mikrowellen. Als Mikrowellen bezeichnet man elektromagnetische Schwingungen, die in einem Frequenzbereich zwischen 230 und 40 000 MHz liegen (Tabelle 2).

Man trennt in der Fernerkundung einerseits zwischen aktiven und passiven Systemen und zwischen flächenabbildenden und punktuellen beziehungsweise linienförmig messenden Systemen. Bei den aktiven Systemen in der Radarfernerkundung werden Mikrowellen vom Sender selbst erzeugt, das zu messende Objekt damit bestrahlt und die Rückstrahlung über eine Antenne wieder empfangen. Passive Systeme nutzen hingegen die im Mikrowellenbereich liegende natürliche Oberflächenstrahlung.

Tabelle 2: Bandbereich der Mikrowellen [HIL96]

Bandbezeichnung	Wellenlänge λ in cm	Frequenzbereich F in MHz
Ka	1,18 – 0,75	26 500 – 40 000
K	1,67 – 1,18	18 000 – 26 500
Ku	2,40 – 1,67	12 500 – 18 000
X	3,75 – 2,40	8 000 – 12 500
C	7,50 – 3,75	4 000 – 8 000
S	15,0 – 7,50	2 000 – 4 000
L	30,0 – 15,0	1 000 – 2 000
UHF	100,0 – 30,0	300 – 1 000
P	136,0 – 77,0	230 – 300

Da Mikrowellen Wolken, Dunst und Rauch durchdringen, ist die Datenaufnahme mittels aktiver Radarsysteme unabhängig von den naturgegebenen Strahlungsverhältnissen und der jeweiligen Wetterlage [ALB01][HIL96].

Die Bezeichnung der einzelnen Bänder ist aus der frühen Zeit der militärischen Entwicklung der Radarfernerkundung übernommen worden und wurde nur aus Geheimhaltungsgründen so gewählt.

Bei aktiven Systemen kann man zwischen RAR (Real Aperture Radar) und SAR (Synthetic Aperture Radar / Synthetische Apparatur Radar) unterscheiden. Ein RAR-System besteht aus einem Sender sowie einem Empfänger und wird ausschließlich von Flugzeugen eingesetzt. Im Abstand von Mikrosekunden werden Mikrowellenimpulse ausgesandt und die zurückgestreuten Signale aufgezeichnet. Je nach Beschaffenheit der Geländeoberfläche ist deren Intensität unterschiedlich stark.

Möchte man von einem Satelliten aus mit Hilfe eines RAR-Systems Fernerkundung betreiben, ergäbe das bei einer Flughöhe von 800 km, einer Wellenlänge von 5,5 cm und einer 10 m langen Antenne eine undiskutable Grundauflösung von 8800 m [HIL96]. Will man eine Verbesserung der Auflösung erreichen, ist es notwendig, die Antenne zu vergrößern. Dem wird aber durch die Proportion der Flugzeuge oder Satelliten eine Grenze gesetzt.

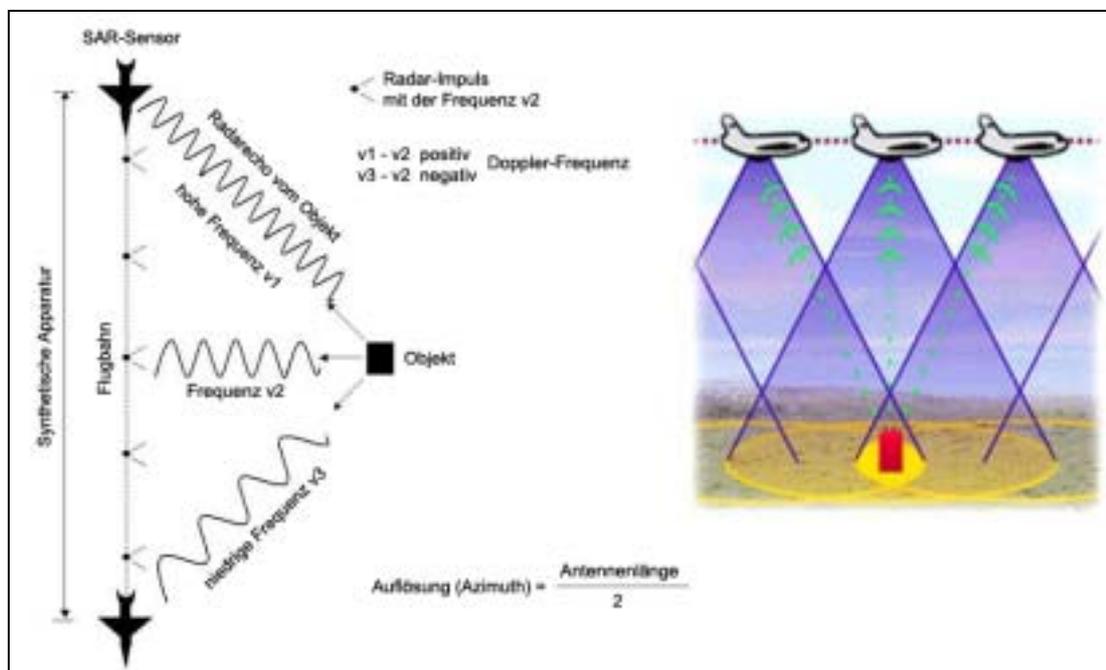


Abbildung 3: Prinzip des Synthetischen Apparatur Radars (SAR) [W-HER02]

Mit dem entwickelten SAR-Prinzip wird ein Punkt an der Erdoberfläche solange erfasst, wie der Radar-Strahlenkegel darüber streift. Dieser Blick aus mehreren unterschiedlichen Richtungen ermöglicht eine höhere Auflösung bei kleiner Antennenlänge, da die längere Antenne nur simuliert wird. Abbildung 3 soll das Prinzip von SAR-Systemen verdeutlichen. SAR-Systeme sind im Gegensatz zu den RAR-Systemen mit wesentlich komplizierteren Einrichtungen zur Signalspeicherung und Prozessierung ausgestattet [HIL96].

Die Unabhängigkeit von Witterung und Sonnenbeleuchtung lässt Radar-Systeme trotz ihres komplexen Aufbaus, schwieriger Prozessierungsverfahren und nicht trivialen Aufnahmedaten zu einer interessanten Anwendungen für die Fernerkundung und Kartographie werden. Es wird möglich, zu jeder Tages- und Nachtzeit Daten zu sammeln, ohne auf Probleme wie Sonnenstand oder Wolkenbildung über dem Beobachtungsgebiet achten zu müssen. Diese Tatsache ermöglicht eine wesentlich einfachere Datenbeschaffung für multitemporale Studien. Es müssen nicht mehr Hunderte von Aufnahmen auf ihre Brauchbarkeit hin begutachtet werden, sondern es steht nach jedem Überflug des Radar-Systems ein voll nutzbarer Datensatz zur Verfügung.

2.1.2. RADARSAT-1

Der Radar-Satellit RADARSAT-1 (Abbildung 4) wurde am 4. November 1995 gestartet. Er ist ein Projekt unter der Leitung der Canadian Space Agency (CSA) in Kooperation mit der National Aeronautics and Space Administration (NASA), der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), der kanadischen Regierung und privaten Investoren.



Abbildung 4: RADARSAT-1 Satellit [W-SRE02]

Die CSA konstruierte den Satelliten, betreut die Mission während ihrer gesamten Dauer und betreibt die zwei Datenempfangsstationen Gatineau in der Provinz Quebec und Prince Albert in Saskatchewan. NASA und NOAA starteten den Satelliten im Austausch für die Zusicherung der Daten. Radarsat International (RSI), eine private kanadische Firma, betreibt weltweit den exklusiven Vertrieb der Daten und unterhält auch die Prozessierungseinheiten an den zwei Datenempfangsstationen.

Der Sensor arbeitet nach dem SAR-Prinzip mit Mikrowellen im C-Band und hatte eine geplante Lebensdauer von 5 Jahren, welche er bereits heute schon überschritten hat. Das System sendet Mikrowellen mit einer Wellenlänge von 5,6 cm in einer Frequenz von 5,3 GHz und der Polarisation HH zur Erde. HH heißt, es werden horizontal polarisierte Wellen ausgesandt und nur der horizontal polarisierte Anteil der Rückstreuung der Erdoberfläche von dem Satelliten gemessen. Die Antenne zum Senden und Empfangen ist schwenkbar und schaut nach rechts bezüglich der Flugbahn des Satelliten [W-RSI02].

Tabelle 3: RADARSAT-1 Betrachtungsmodi [RSI00]

Betrachtungsmodus	Auflösung (m)	Streifenbreite (km)	Einfallswinkel (°)
Fine	8	50	36 – 48
Standard	25	100	20 – 49
Wide	30	150	20 – 49
ScanSAR Narrow	50	300	20 – 46
ScanSAR Wide	100	500	20 – 49
Extended High	25	75	49 – 59
Extended Low	35	170	10 – 23

Durch die sieben Betrachtungsmodi ist es möglich, eine Auflösung von 8 bis 100 Metern, eine Streifenbreite von 50 bis 500 Kilometern und einen Einfallswinkel von 10 bis 59 Grad zu erreichen. Die genauen Eigenschaften der Modi sind in Tabelle 3 beziehungsweise Abbildung 5 aufgezeigt. In jedem Modus werden die Daten parallel zur Flugbahn des Satelliten aufgenommen. Dabei ist die Länge einer Radarszene nur durch die maximal mögliche Zeitdauer des kontinuierlichen Radareinsatzes begrenzt und kann bis zu 1 000 km betragen.

Der Satellit fliegt in einer Höhe von 798 km über der Erde und beschreibt einen zirkularen, sonnensynchronen Orbit. Der Inklinationwinkel beträgt 98,6 Grad. Eine Umrundung der Erde dauert genau 100,7 Minuten, wodurch sich zirka 14 Umrundungen pro Tag ergeben und alle 24 Tage das System die gleiche Orbitbahn fliegt. Pro Orbit werden jedoch nur maximal 20 Minuten für Aufnahmen genutzt. Die verbleibende Zeit benötigt der Satellit für das

Aufladen der Batterien. Die gesammelten Daten werden an Bord gespeichert und beim Flug über einer kanadischen Bodenstation zur Erde gesandt. Dabei sind Datenraten von 74 bis 105 MB pro Sekunde möglich. Wo und wann Daten aufgezeichnet werden, entscheidet die CSA, je nachdem, wo gerade besonderes Interesse vorherrscht oder Daten von Kunden bestellt worden sind.

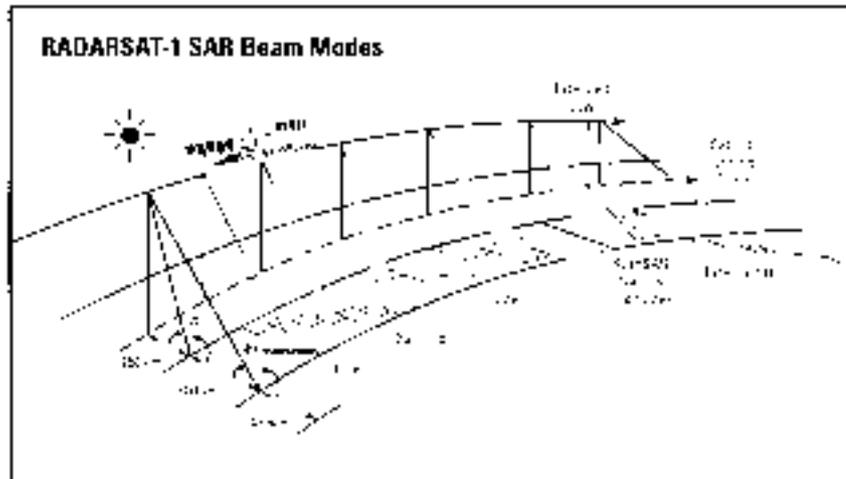


Abbildung 5: RADARSAT-1 Betrachtungsmodi [RSI00]

Bei normaler Konfiguration des Satelliten ist es auf Grund der Ausrichtung der Antenne nur möglich, die polaren Regionen der Arktis und nicht der Antarktis aufzunehmen. Um auch die minimale und maximale Eisbedeckung der Polkappen aufnehmen zu können, wurde der Satellit in den ersten zwei Jahren der Mission zweimal um die Vertikalachse gedreht. Dieses Manöver nahm jeweils zwei Wochen in Anspruch. Der Nachfolger RADARSAT-2, welcher voraussichtlich im Jahr 2002 gestartet wird, hat die Möglichkeit, seine Antenne beidseitig entlang der Flugbahn auszurichten. Die Datenspeicher an Bord von RADARSAT-1 verfügen über die Kapazität, 48 SAR-Bilder im Standard Beam Modus aufzuzeichnen. Das entspricht einer Fläche von 480 000 km². Wegen der Ausrichtungsmöglichkeiten und der hohen Speicherkapazität war er auch das erste Satellitensystem, welches eine globale Abdeckung mit hoher Auflösung ermöglichte.

Für Satelliten mit Radarsensoren ist eine gute Beleuchtung der Solarzellen wichtiger als die Beleuchtung der Erdoberfläche durch die Sonne, da das Senden der elektromagnetischen Wellen ein sehr energieintensiver Vorgang ist. Durch den sonnensynchronen „dawn-dusk“ Orbit von RADARSAT-1 werden die Solarzellen zu jeder Zeit von der Sonne beschienen [H&L98].

2.2. Klassifizierung

Generell versteht man unter der Klassifizierung die manuelle oder automatisierte Trennung und Typisierung eindeutiger, konkreter, thematischer und topographischer Objekte auf der Erdoberfläche anhand der in den Bildern enthaltenen Merkmale [KRÄ98].

Die immer größer werdende Anzahl an Fernerkundungssystemen und der damit verbundene Anstieg der verfügbaren Daten machten sehr schnell deutlich, dass für die sinnvolle Auswertung dieser Daten eine Nutzung automatischer Systeme von Vorteil sein wird. Nur so wird es in Zukunft möglich sein, diese Flut von Daten zu bewältigen.

In der heutigen Fernerkundung unterscheidet man hauptsächlich zwischen zwei Klassifizierungsverfahren. Auf der einen Seite gibt es die Cluster-Analyse oder auch unüberwachte Klassifizierung, bei der die Gesamtheit der Bildelemente in eine Anzahl von Klassen ähnlicher spektraler Eigenschaften unterteilt wird [ALB01]. ALBERTZ schreibt dazu: „Die Bedeutung der einzelnen Klassen kann man nachträglich durch Interpretation des Ergebnisses bestimmen. Häufig wird diese Art der Datenanalyse aber nicht als selbstständiges Verfahren, sondern zur Vorbereitung einer überwachten Klassifizierung eingesetzt.“

Bei dem zweiten Klassifizierungsverfahren handelt es sich also um die überwachte Klassifizierung, bei der nach ALBERTZ [ALB01] vier Verfahren besonders hervorzuheben sind. Das Maximum-Likelihood-Verfahren (Verfahren der größten Wahrscheinlichkeit) ist eine sehr verbreitete Methode. Auf Grund statistischer Kenngrößen der vorgegebenen Klassen werden die Wahrscheinlichkeiten der Zugehörigkeit einzelner Pixel zu einer Klasse berechnet. Mit Hilfe von Trainingsflächen werden die spezifischen Kenngrößen der Klasse definiert. Dabei unterstellt dieses Verfahren, dass die statistischen Kenngrößen in jeder Klasse normal verteilt sind.

Das Minimum-Distance-Verfahren (Verfahren der nächsten Nachbarschaft) ordnet die Pixel entsprechend ihrer Entfernung im Merkmalsraum zum jeweiligen Klassenmittelpunkt einer bestimmten Klasse zu. Dabei wird zunächst aus allen Trainingsgebieten einer Objektklasse der jeweilige Mittelwert für die Spektralkanäle berechnet. ALBERTZ [ALB01] bemerkt dazu: „Das Verfahren hat den Nachteil, dass es die unterschiedlichen Streubereiche der Messwerte nicht berücksichtigt. Deshalb kann ein Bildelement einer Klasse zugewiesen werden, der es mit großer Wahrscheinlichkeit nicht zugehört.“

Eine weitere Methode der überwachten Klassifizierung ist das Quader-Verfahren, bei dem in den einzelnen Spektralkanälen eine obere und untere Grenze definiert wird. Sind Pixel innerhalb dieser Grenzen zu finden, so gehören sie zu der entsprechenden Klasse. Pixel, die

sich in keiner Box befinden, bleiben unklassifiziert. Durch Verfeinerung dieser Grenzen können auch Überschneidungen vermieden werden [ALB01].

Die vierte Methode, die hierarchische oder baumförmige Klassifizierung, unterscheidet sich grundlegend von den anderen. Die Zuordnung erfolgt nicht in einem einmaligen Vorgang, sondern die Entscheidung über die Zugehörigkeit zu einer Klasse wird schrittweise durch die Folge von Einzelentscheidungen erreicht. Dabei werden je Schritt immer nur wenige, klar trennbare Klassen untergliedert. Das sehr feine Klassifikationsgefüge führt aber auch zu einem höheren Arbeitsaufwand [ALB01].

2.2.1. Pixelorientierten Klassifizierung

Alle oben genannten Verfahren basieren hauptsächlich auf dem Pixel, der kleinsten Einheit des digitalen Bildes. Jedes Pixel besitzt die gleiche Form und Größe und ist zumeist ein Quadrat.

Legt man bei einer Klassifikation diese Einheit zu Grunde, kann bei sehr feiner Klassifikationsaufgliederung jedes einzelne Pixel individuell klassifiziert werden. Auf der einen Seite wird ein möglichst vielschichtiges Ergebnis erwartet, auf der anderen Seite führt dies zu einer „Überklassifizierung“, die meist nicht sinnvoll ist. Der Effekt dieser „unruhigen“ Klassifikationsergebnisse wird auch als Salz- und Pfeffer-Effekt bezeichnet und ist in Abbildung 6 zu sehen.

Ein weiterer Nachteil ist die Zeitintensivität dieser pixelorientierten Methoden und die damit verbundenen Kosten. Zwar schafft es heute jeder handelsübliche Computer, mit der geeigneten Software, Klassifikationsergebnisse zu erzielen, aber bei großen, multispektralen, hochauflösenden Datensätzen wird auch hier sehr schnell der Zeitfaktor spürbar. Das hängt mit der ungeheuren Anzahl der Operationen zusammen. Bei dem Maximum-Likelihood-Verfahren wird die Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit jedes Pixels zu jeder Klasse überprüft. Bei einem eher kleinen Bild mit einer Größe von 2 000 x 2 000 Pixel und drei möglichen Klassen fallen schon 12 000 000 Prüfungen an. Jede Vergrößerung des Bildes, der Klassenanzahl oder Ausgangskanäle steigert diese Anzahl.

2.2.2. Objektorientierte Klassifizierung

Um den oben genannten Problemen bei den pixelorientierten Verfahren zu entgehen, wird seit längerem der Ansatz einer objektorientierten Klassifizierung verfolgt. Dabei wird vor der eigentlichen Klassifizierung eine Segmentierung durchgeführt, bei der nach verschiedenen Verfahren aus den einzelnen Pixeln Objekte gebildet werden. Ein Objekt

bekommt die Eigenschaften, die aus der Mittelung der Merkmale der enthaltenen Pixel entstehen.

Durch die Objektbildung kann jetzt auch die Form bei der Klassifizierung einbezogen werden. Weiterhin ist es möglich, über Nachbarschaftsbeziehungen von Objekten bessere Klassifikationsergebnisse zu erzielen [BLS01].

In der Arbeit von MÜLLER [MÜL01] werden die drei wesentlichen Methoden zur automatischen Bildsegmentierung kurz erläutert. Die erste Methode ist die Clusterbildung, bei der auf statistischer Basis ohne Berücksichtigung der räumlichen Verteilung Objekte gebildet werden. Diese Methode ist das einfachste Verfahren, liefert aber nur wenig brauchbare Segmente. Ein weiteres Verfahren ist die Segmentbildung mit kantenbasierten Methoden. Dabei wird nach Kanten im Bild gesucht, die durch starken spektralen Gradienten gekennzeichnet sind. Man geht nun davon aus, dass diese Kanten auch Objektgrenzen darstellen. Das Problem des Verfahrens ist die Objektbildung bei stark verrauschten oder „verspeckelten“ Daten.

Im Gegensatz zu den oben genannten zwei Segmentierungsalgorithmen arbeiten die regionenbasierten Methoden mit lokalen Nachbarschaften und erzeugen geschlossene Bildsegmente. Bekannte Vertreter dieser Kategorie sind die „Split-and-Merge“- und „Region-Growing“-Methoden. Grundlage hierfür ist die iterative Aggregation von Pixeln zu Segmenten ausgehend von einzelnen Anfangspixeln. Der Algorithmus analysiert, ob ein Nachbarpixel dem Segment zugefügt werden kann oder nicht. Das Entscheidungskriterium wird in diesem Zusammenhang über bestimmte spektrale oder räumliche Homogenitätskriterien definiert. Kritisch sind sowohl die Bestimmung der Abbruchkriterien, die entweder manuell oder automatisch bestimmt werden können, als auch die Wahl der Anfangspixel.

2.2.3. Pixel- versus Objektorientierte Klassifizierung

Bei einem direkten Vergleich beider Klassifikationsansätze durch MEINEL [MRN00] am Institut für ökologische Raumplanung (IÖR) in Dresden konnten interessante Erfahrungen gemacht werden. Mit Hilfe pixel- und objektorientierter Klassifizierungsverfahren wurde eine IKONOS-Szene analysiert, die die westlichen Stadtteile Dresdens zeigt. Für die pixelorientierte Auswertung wurde der ERDAS Expert Classifier genutzt und für die objektorientierte Klassifikation das Programm eCognition, eine Entwicklung der Definiens AG in München.

Wie in Abbildung 6 sehen kann, macht sich der „Salt and Pepper“-Effekt der pixelorientierten Auswertung deutlich bemerkbar. Die mit dem Pfeil markierte nördliche Autobahnauffahrt wird dabei als versiegelte Freifläche falsch klassifiziert.

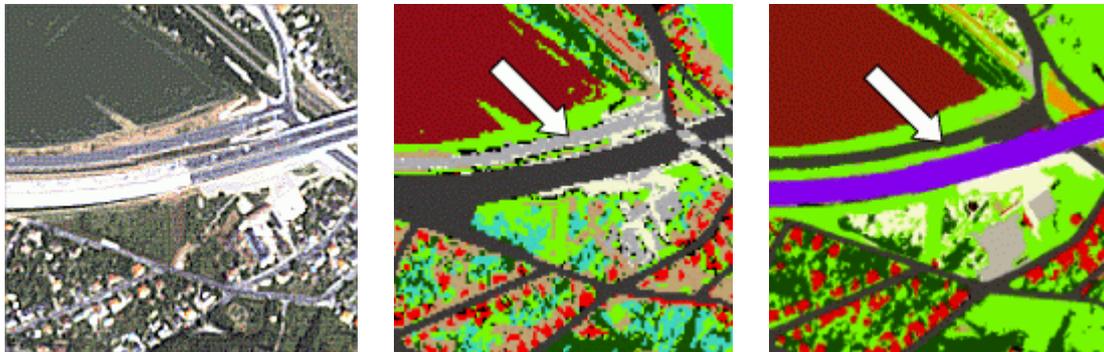


Abbildung 6: Ikonos-Szene der Autobahnabfahrt Dresden-Altstadt und Klassifikationsergebnisse
(Links: Original, Mitte: Klassifikation mit ERDAS, Rechts: Klassifikation mit eCognition) [MRN00]

Bei der Klassifikation mit objektorientierten Verfahren in eCognition konnte durch geeignete Auswahl von Form- und Nachbarschaftskriterien die richtig Klassenzuweisung erfolgen. Nur bei Objekten können diese beiden Kriterien sinnvoll genutzt werden. Schlussfolgerungen aus dieser Arbeit waren, dass Objektform und Nachbarschaftsbeziehung wichtige Merkmale zur Klassifikation sind und eine wesentlich bessere Unterscheidbarkeit der Klassen ermöglichen.

2.3. Naturkatastrophen – Überschwemmungen

Naturkatastrophen sind schon seit Beginn der Erdgeschichte ein wesentlicher Bestandteil landschaftsdynamischer Prozesse. Für den Menschen werden diese Ereignisse nur zu einem Problem mit katastrophalen Ausmaßen, wenn sie sich in der von ihm geschaffenen und erweiterten Kulturlandschaft ereignet [KEM01].

Dabei tritt kein anderes Naturphänomen weltweit so häufig auf und verursacht in der Summe so hohe Schäden wie die verschiedenen Arten von Überschwemmungen [MRV00]. Es wird dabei im allgemeinen unterschieden zwischen Sturmflut, Flussüberschwemmung, sowie einigen Spezialfällen wie zum Beispiel Grundwasseranstieg oder Gletscherwasserausbruch.

Bei ISLAM & KAMAL [ISK93] werden die in Bangladesch auftretenden Fluten in drei Gruppen eingeteilt. Man unterscheidet zwischen den Monsunfluten, Schichtfluten und Gezeitenfluten (Tabelle 4). Erstere wird durch relativ langsamen Anstieg, lange Dauer und große überdeckte Gebiete charakterisiert. Zu den Monsunfluten gehören auch die Hochwasser der drei Hauptflusssysteme von Ganges, Brahmaputra und Meghna, die nach

starken Monsunregenfällen über die Ufer treten. Sie werden durch die Schmelzwässer zusätzlich verstärkt.

Tabelle 4: Auftreten und Dauer der Fluttypen in Bangladesch [ISK93]

Bezeichnung	Auftreten	Dauer
Schichtfluten	März bis Mai September / Oktober	2 bis 3 Tage
Monsunfluten	Juli bis September	2 Wochen bis 2 Monate
Gezeitenfluten	April / Mai Oktober / November	6 Stunden bis 7 Tage

Schichtfluten sind sehr schnell steigend und nur von kurzer Dauer. Sie treten als Ergebnis örtlicher Starkregenfälle in den angrenzenden Bergländern auf und sind am häufigsten in den südöstlichen Landesteilen und nördlichen Grenzgebieten von Bangladesch zu finden. Ihre Wirkung wird durch die Versandung der Abflusssysteme und illegale Baumaßnahmen verstärkt. Dabei erzeugen ihre schwere Vorhersagbarkeit und die hohen Strömungsgeschwindigkeiten ein großes Gefährdungspotential.

Bei CLASSEN [CLA93] werden diese Monsun- und Schichtfluten, unter dem Begriff Süßwasser-Fluten zusammengefasst. Im Gegensatz dazu sind die Gezeitenfluten oder auch Salzwasserfluten genannt, mehr im Küstenbereich anzutreffen. In den Monsunzeiten ist die Fläche dieser Überschwemmungsgebiete größer, da die Gezeiten hier einen Rückstau der hochwasserführenden Flüsse verursachen. Weiterhin wird vermerkt, dass die exponierte Lage von Bangladesch am Golf von Bengalen ein weiteres Gefahrenpotential darstellt. Die Lage am Ende des Trichters zwischen Vorderindien und Hinterindien führt dazu, dass sich für die bei den Zyklonen auflaufenden Wassermassen die Fläche verengt und deshalb mehrere Meter hohe Flutwellen entstehen lassen [CLA83]. Im April 1991 erreichte eine dieser Flutwellen eine Höhe von 6 m und forderte auf den vorgelagerten Inseln viele Menschenleben (Abbildung 7). Aber auch ein kleinerer Sturm kann in Verbindung mit einer Springflut für große Überschwemmungen sorgen [ISK93]. Dabei bezeichnet man eine Springflut als das Ereignis, bei dem zum Zeitpunkt einer Sturmflut gleichzeitig eine Springtide auftritt. Springtiden werden die Gezeiten genannt, bei denen Sonne und Mond auf der selben Seite zur Erde stehen, sich ihre Anziehungskräfte summieren und dadurch das Tidehochwasser über den normalen Hochwasserstand steigt.

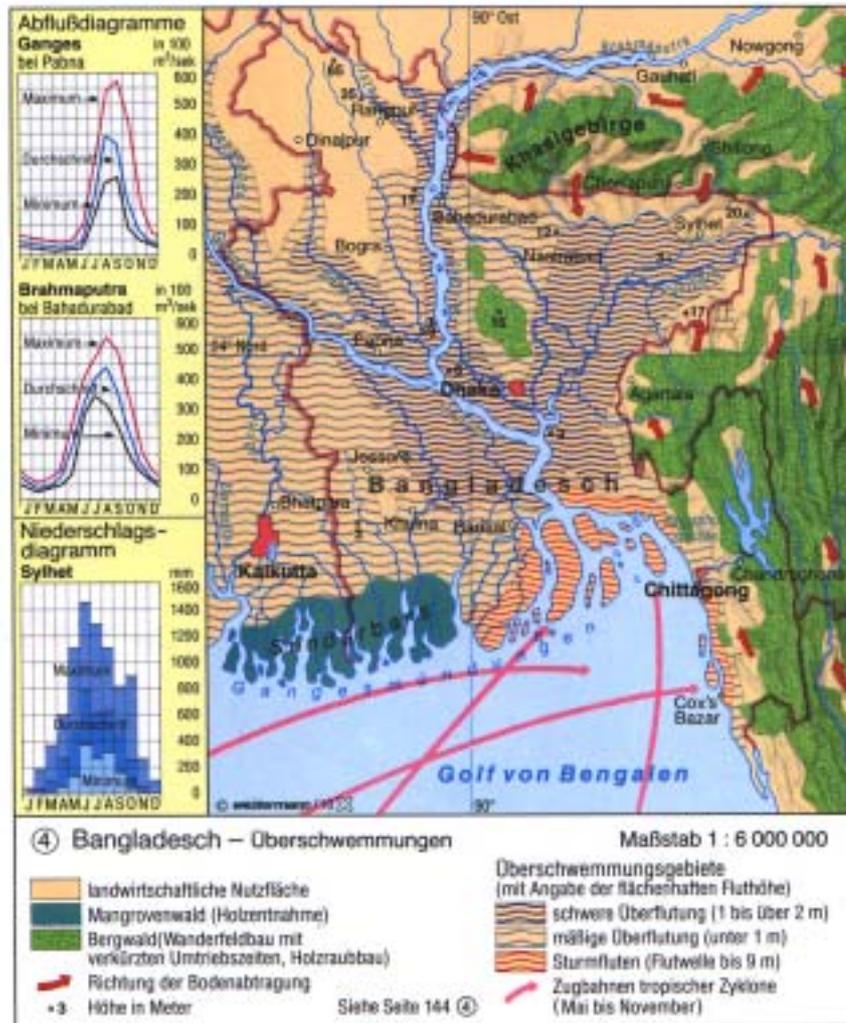


Abbildung 7: Bangladesch - Überschwemmungen, Karte aus dem Diercke Weltatlas [DWA91]

Die Natur hat sich jedoch den Überschwemmungen im Küstenbereich angepasst. Der Mangrovenwald ist eine von amphibischen Gehölzen gebildete Strauch- und Waldformation im Gezeitenbereich der flachen, oft sandigen Küstenzonen der Tropen. Ihre hohen Stelzwurzeln werden bei Hochwasser überflutet und bilden ein dichtes Geflecht, in dem sich der Schlick bei Ebbe ansammelt. Wegen des sauerstoffarmen Bodens bilden die Pflanzen Atemwurzeln aus. Bei optimalen Bedingungen ergeben sie einen 10 bis 20 m hohen, artenarmen Wald, der an seiner Verbreitungsgrenze nur strauchartig ausgebildet ist [SDG97].

Die Japaner KOTERA, OCHI und HATO stellen in einem Aufsatz [W-ACR97] 1997 bei der 18th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS, Asiatische Konferenz für Fernerkundung) ein Verfahren für die Generierung einer Basiskarte zur geologischen Erforschung der Mangrovengebiete vor. Dabei nutzen sie vor allem die Unterscheidbarkeit von zwei Baumtypen, die einen unterschiedlichen Bedarf an Salzwasser haben. So siedelt

sich der 10 m hohe Gewa-Baum (*Excoecaria agallocha*) direkt an den Uferflächen der Flussläufe an, da er das salzhaltige Gezeitenwasser für seinen Fortbestand braucht. Der etwa 15 m hohe Sundri-Baum (*Heritiera fomes*) dagegen wächst bevorzugt auf solchen Flächen, die auch bei höchstem Tide-Stand nicht von Salzwasser überflutet werden. Die verschiedenen Rückstreuungen der beiden Pflanzen in den genutzten Satellitenbildern führten dazu, dass man selbst Flussläufe erkennen konnte, die durch das Laubdach seiner Uferpflanzen völlig verdeckt sind. Dieses Beispiel macht deutlich, dass sich die Natur an die normalen „Salzwasserfluten“ durchaus angepasst hat.

3. DIE OBJEKTORIENTIERTE BILDANALYSESOFTWARE ECOGNITION

3.1. Einführung

Die Software eCognition wurde von der Definiens AG, vormals Delphi2, entwickelt und im Oktober 2000 auf dem Markt eingeführt. Sie wird weltweit von Universitäten, Forschungseinrichtungen und Industrie für die objektorientierte Bildanalyse genutzt. Für die Diplomarbeit stand die aktuelle Version 2.1 zur Verfügung (Abbildung 8).

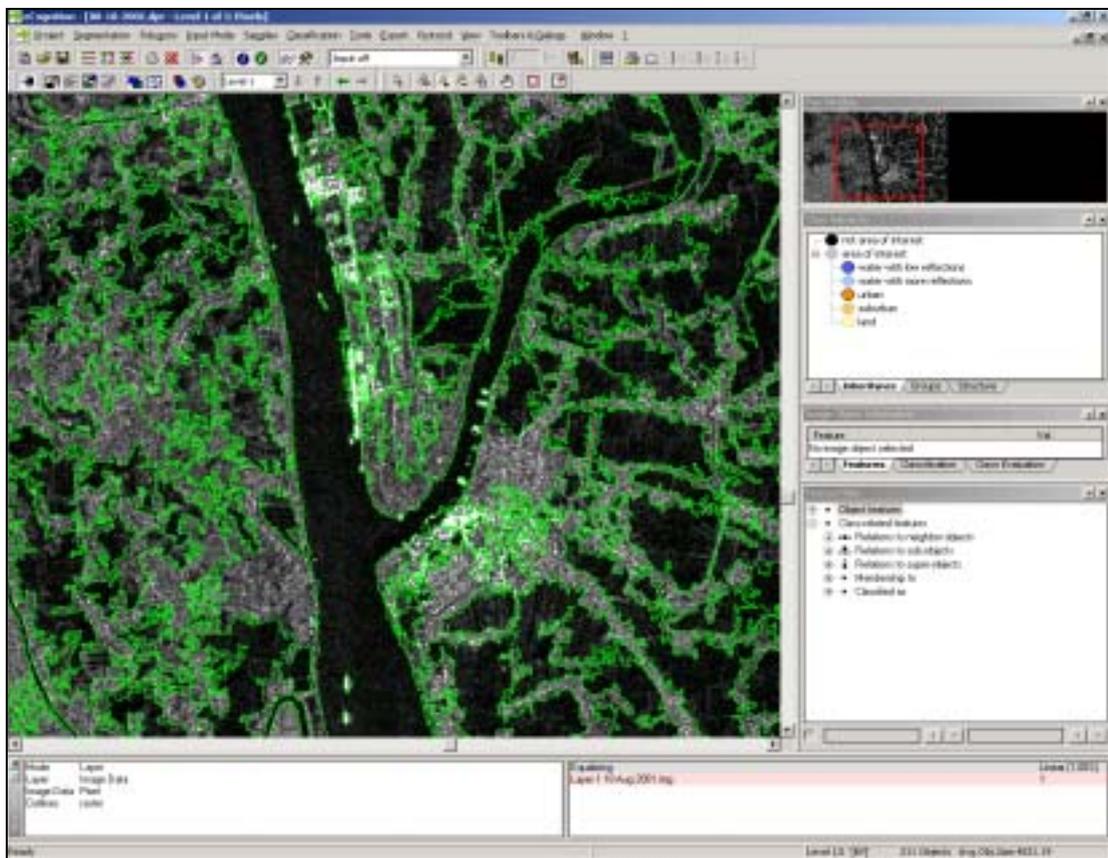


Abbildung 8: Anwendungsoberfläche der Software eCognition

eCognition ist ein Programm zur Klassifizierung von Bilddaten mit Hilfe objektorientierter Bildanalyse. Bei der folgenden allgemeinen Beschreibung des Programms werden alle englischen Bezeichnungen mit angeführt, um eine bessere Vergleichbarkeit mit der Software zu ermöglichen. Umfangreiche weiterführende Informationen findet man auf den

Internetseiten der Definiens AG [W-DEF02], wo auch eine Testversion zum Download angeboten wird. Somit hat man die Möglichkeit, sich einen Eindruck über die Funktionalität des Programmes zu verschaffen. In der Testversion ist die Größe der importierbaren Bilddaten beschränkt und das Abspeichern der Ergebnisse nicht möglich. An dieser Stelle soll es nun eine kurze Erklärung der Funktionen der Software geben, wobei nicht alle Details erläutert werden können. Für weiterführende Studien sei hier auf das ausführliche Handbuch zur Software verwiesen [DEF01].

Grundsätzlich erfolgt eine Klassifizierung mit eCognition in folgenden Schritten [MÜL01]:

1. Aufbau eines hierarchischen Netzwerkes von Bildobjekten

- Automatisierte Segmentierung des Bildinhaltes in Objekte in jeder gewünschten Auflösung („multiresolution segmentation“)
- Wissensbasierte Bildung und Korrektur von Bildobjekten anhand klassifizierter Bildobjekte („classification-based segmentation“)

2. Klassifizierung der Bildobjekte

- Basierend auf Fuzzy-Logic
- Hierarchische Klassenstruktur mit Klassenbeschreibungen als Wissensbasis („rule base“)
- Klassifizierung von Objekten basierend auf Objekteigenschaften (z.B. durchschnittlicher Grauwert, Form, Textur)
- Klassifizierung von Objekten beruhend auf den Beziehungen der Objekte untereinander mittels lokaler und hierarchischer Kontextinformationen

3.2. Bildung eines hierarchischen Netzwerkes

Für den Aufbau eines hierarchischen Netzwerkes von Bildobjekten muss eine automatische Segmentierung durchgeführt werden. Dabei werden für den Import von Bilddaten viele der gängigen Dateiformate unterstützt. Zu nennen sind unter anderem ERDAS Imagine Dateien (.IMG), geocoded Tagged Image File (.TIF), ARC/INFO Binary Grid, ESRI ASCII Grid (.ASC) und PCI DSK Bilddaten (.PIX). Weiterhin ist es möglich, thematische Layer zu importieren, wobei neben den oben genannten Formaten Vektordaten als Shape Files (.SHP) importierbar sind. Auf Grund der Kooperation mit der Firma PCI Geomatica ist bei der Installation eines ihrer Softwarepakete eine noch umfangreichere Formatunterstützung möglich.

Die automatische Segmentierung des Bildinhaltes in Objekte mit einer gewünschten Auflösung („multiresolution segmentation“) kann nach der Einstellung der dafür notwendigen Parameter erfolgen. Der in eCognition verwendete Segmentierungsalgorithmus kann als ein Region-Growing-Prozess bezeichnet werden. Das Ziel des Algorithmus besteht darin, möglichst homogene Bildobjekte in einer frei wählbaren Auflösung zu erzeugen. Die dazu notwendigen Homogenitätskriterien sind nicht nur auf die Spektralwerte beschränkt, sondern beziehen auch die Form der Objekte mit ein [B&S00].

Das in Abbildung 9 gezeigte Fenster der Programmoberfläche ist zur Definition der Homogenitätskriterien Farbe („Color“) und Form („Shape“) notwendig. Die Form kann dabei noch über die Glattheit („Smoothness“) und Kompaktheit („Compactness“) genauer spezifiziert werden.

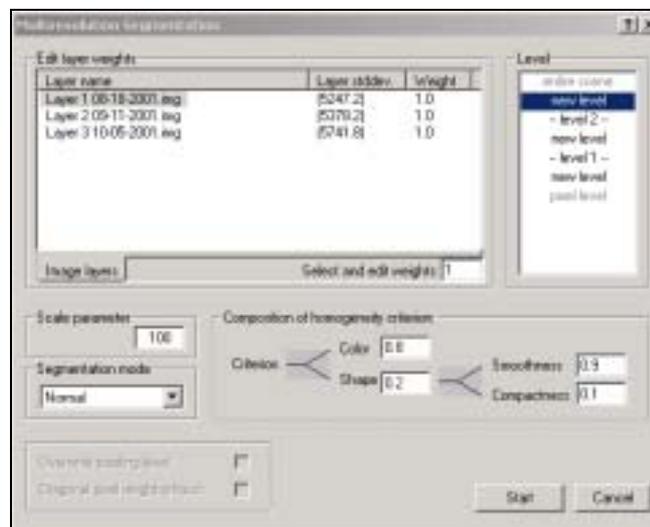


Abbildung 9: Fenster der Multiresolution Segmentation in eCognition

Für die Segmentierung wird versucht, die Homogenität innerhalb der Objekte zu maximieren beziehungsweise die Heterogenität zu minimieren. Zur Beschreibung der Spektral- oder Farbheterogenität wird in eCognition die Summe der Standardabweichung der spektralen Werte in jedem Layer mit deren Gewichtung genutzt [DEF01].

$$1) \quad h = \sum_c w_c \cdot \sigma_c$$

Der Grund für die Vermischung der spektralen und räumlichen Heterogenität ist das Bestreben, die Abweichungen von der kompakten oder glatten Form zu reduzieren. Die Heterogenität als Abweichung von der kompakten Form kann durch das Verhältnis der

Umrandungslinie und der Quadratwurzel der Pixelanzahl dieses Objektes beschrieben werden.

$$2) \quad h = \frac{l}{\sqrt{n}}$$

Die Formeln sind allgemein bekannt und in eCognition baut die Segmentierung darauf auf. Dieser Prozess ist optimiert worden und erlaubt so eine schnellere Segmentierung.

In dem Fenster „Multiresolution Segmentation“ findet man auch die Eingabemöglichkeit des Skalierungsparameters („Scale Parameter“) und der Gewichtung („Weights“) der einzelnen Bildlayer. Der Skalierungswert steuert die Größe der erzeugten Objekte.

Weiterhin kann entschieden werden, ob die thematischen Layer und diagonalen Nachbarpixel zur Segmentierung genutzt werden sollen. Der Aufbau des hierarchischen Netzwerkes erfolgt durch Verteilung der Segmentierungsergebnisse auf mehreren Level, die ebenfalls in diesem Menü definiert werden können. Dabei ist zu beachten, dass sich Objekte der oberen Level vollständig aus den Objekten der unteren Level zusammensetzen lassen. Diese Beziehung lässt sich auch als hierarchisches Netzwerk von Bildobjekten bezeichnen und soll in der Abbildung 10 dargestellt werden .

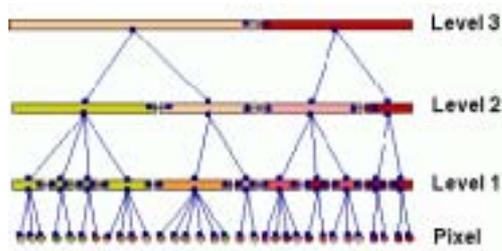


Abbildung 10: Hierarchisches Netzwerk von Bildobjekten in eCognition [DEF01]

So ist es möglich, die Bilddaten zunächst in sehr kleine Objekte aufzuteilen und in der nächsthöheren Ebene eine etwas gröbere Aufteilung der Bilddaten vorzunehmen. Die Segmentierung in mehreren Leveln hat den Vorteil, dass man in den unterschiedlichen Leveln jeweils nach einem völlig anderen Regelwerk klassifizieren kann.

Mit der „Classification Based Segmentation“ wird die Möglichkeit gegeben, eine weitere Segmentierung auf Basis einer schon erfolgten Klassifizierung durchzuführen. So kann auch in den Segmentierungsprozess das extrahierte Wissen einfließen und zu einer verbesserten Objektbildung genutzt werden.

3.3. Klassifizierung mit eCognition

Um die erstellten Objekte zu klassifizieren, ist eine Beschreibung der Klassen als Wissensbasis notwendig. In eCognition werden die Klassen hierarchisch aufgebaut und sind im Fenster „Class Hierarchy“ editier-, lad- und speicherbar. Beim Laden einer Klassenhierarchie aus einem anderen Projekt muss darauf geachtet werden, dass die Zahl der Bildlayer mit denen im neuen Projekt übereinstimmt, da sonst die Klassifizierung nicht ordentlich arbeiten kann.

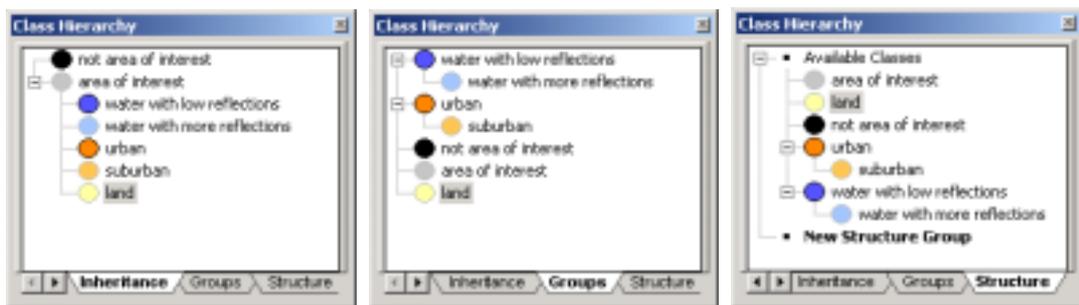


Abbildung 11: Beispiel einer Klassenhierarchie

In der Klassenhierarchie (Abbildung 11) werden die, aus der objektorientierten Programmierung bekannten, Vererbung („Inheritance“), aber auch Gruppen („Groups“) und Struktur („Structure“) bearbeitet. Die Vererbung ermöglicht die Weitergabe von Eigenschaften der „Eltern-Klasse“ an die „Kind-Klasse“. Das hat den Vorteil, dass die einmal definierten Merkmale an die Unterklassen weitergeben werden können und keine Redundanzen auftreten. Die Gruppen sorgen für mehr Übersichtlichkeit bei der Klassifizierung. Durch das Zusammenfassen mehrere Klassen zu einer Gruppe kann durch das Ansprechen dieser Gruppe leichter auf alle darin enthaltenen Klassen zugegriffen werden. Die Struktur ist eine weiterführende Option für die wissensbasierte Segmentierung. Jede einzelne Klasse wird durch eine Fuzzy-Regelbasis beschrieben, die über das Fenster Klassenbeschreibung („Class Description“) definiert wird. Bei der Fuzzy-Logic werden die unscharfen oder unsicheren Definitionen von Klassen durch den Benutzer nachmodelliert. Beispielsweise kann die Frage, ab welcher Baumdichte man ein Gebiet als Wald bezeichnet, so durch einen unscharfen Übergang beschrieben werden. Eine exakte numerische Festlegung von 50 % wäre sicherlich nicht angebracht. Pixelorientierte Verfahren verfügen oft nur über die Möglichkeit, harte Grenze zu ziehen. Dies ist aber zum Beispiel bei Mischpixeln am Waldrand nicht sehr hilfreich. Ein Klassifizierungswerkzeug, das unscharfe Regeln verarbeiten und Informationen über die Mischung der Klassen in einem Pixel

beziehungsweise Objekt liefern kann, würde das Potential der Fernerkundungsdaten besser ausschöpfen [MÜL01].

Bei der Fuzzy-Klassifizierung wird die Möglichkeit der Mitgliedschaft eines jeden Objektes zu allen Klassen ermittelt und für eine Zuordnung zu einer bestimmten Klasse genutzt. Grundlage dieser Auswertung ist die Verknüpfung mehrerer Zugehörigkeitsfunktionen zu einer Fuzzy-Regelbasis, die im Fenster „Class Description“ angezeigt wird (Abbildung 12).



Abbildung 12: Beispiel einer Klassenbeschreibung mit einer Fuzzy-Regelbasis

In eCognition können diese Regelsätze durch die logischen Operatoren („and, or, mean“) aufgebaut werden. Dabei wird mit dem Operator „and(min)“ der kleinste Fuzzy-Wert von allen hierarchisch untergeordneten Zugehörigkeitsfunktionen zurückgegeben. Dementsprechend gibt „or(max)“ den größten Fuzzy-Wert, „and(*)“ das Produkt, „mean(arithm)“ das arithmetische Mittel und „mean(geo.)“ das geometrische Mittel aller Fuzzy-Werte wieder [DEF01].

Die durch eine Zugehörigkeitsfunktion beschriebene Fuzzy-Set-Menge baut immer auf einer Eigenschaft („Feature“) der Objekte auf. Dabei gibt es neben den spektralen Merkmalen auch eine Vielzahl weiterer Eigenschaften (z.B. Größe, Länge, Breite, Form, Beziehungen zu Nachbarobjekten), die nur bei einer objektorientierten Klassifizierung sinnvoll sind. Durch die Definition als Fuzzy-Set-Mengen können alle Merkmale unabhängig von ihrer ursprünglichen Dimensionierung genutzt werden.

Nach diesem ,auch als „Fuzzyfication“ bezeichneten, Prozess können alle Merkmale eines Objektes als Zugehörigkeitswerte zwischen Null (keine Zugehörigkeit) und Eins (volle Zugehörigkeit) ausgedrückt werden. Dies macht den parallelen Einsatz verschieden skaliertes Sensorendaten und anderer Geoinformationen (z.B. thematische Karten) in einer Klassifikation möglich. Das resultierende unscharfe Klassifikationsergebnis kann als „harte“ Klassifikation ausgegeben werden, indem die für jedes Objekt berechnete Klasse mit dem höchsten Zugehörigkeitswert dargestellt wird („Defuzzyfication“). Zudem kann diese Methode Informationen über die Klassenmischung innerhalb eines Objektes liefern [DEF01][MÜL01].

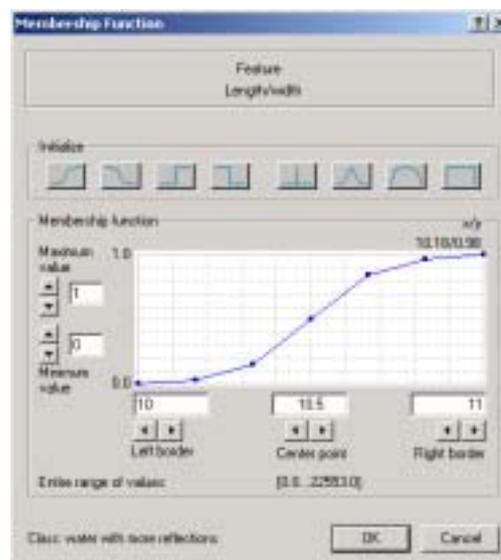


Abbildung 13: Beispiel einer Zugehörigkeitsfunktion (Länge / Breite)

Die Zugehörigkeitsfunktionen werden in der Fuzzy-Logic in verschiedene Typen eingeteilt. Eine Funktion mit ansteigendem Kurvenverlauf, wie in Abbildung 13, wird wegen des Aussehens als S-Kurve bezeichnet. Die Z-Kurve dagegen hat einen absteigenden Verlauf. Eine erst aufsteigende und dann absteigende Kurve heißt durch das Erscheinungsbild T-Kurve (Triangle, Dreieck) [BEN99].

Die Eigenschaften, auf denen die Zugehörigkeitsfunktionen aufbauen, werden generell in zwei große Gruppen, die Objekteigenschaften („object features“) und die klassenbezogenen Eigenschaften („class-related features“), unterteilt. Die letzteren Eigenschaften können bei der Klassifizierung auch optional ausgeschaltet werden. Zu den Objekteigenschaften zählen all jene, die sich für jedes einzelne Objekt mathematisch beschreiben lassen, wie zum Beispiel die Kantenlänge, die Fläche, die Textur und die Position im hierarchischen Netzwerk. Klassenbezogene Eigenschaften hingegen werden durch die Beziehung des Objektes zu seinen Nachbar-, Unter- oder Oberobjekten definiert. Ebenso zählen dazu die

Mitgliedschaft („Membership to“) oder die Zugehörigkeit („Classified as“) zu einer Klasse (Abbildung 14).



Abbildung 14: Objekteigenschaften und klassenbezogene Eigenschaften

Es ist auch möglich, eine Klasse über die Definition von Beispiel-Objekten („Samples“) mit Hilfe der nächsten Nachbarschaft („Nearest Neighbor“) zu klassifizieren. Basierend auf diesen Trainingsdaten weist eCognition die Objekte den Klassen zu, denen sie statistisch am ähnlichsten sind. Die Eigenschaften, welche für die Auswertung genutzt werden sollen, können festgelegt werden. Nicht immer sind alle Eigenschaften für die Klassifizierung mit dieser Methode sinnvoll und erhöhen nur die Rechenzeit.

Bei dem zumeist iterativen Aufbau einer Klassenhierarchie werden zuerst nur wenige Klassen voneinander getrennt. Nach einer Klassifizierung kann mit Hilfe des „2D Feature Space Plot“ das Ergebnis analysiert und die Klassendefinition verbessert werden. Mit diesem Werkzeug lässt sich ein zweidimensionales Diagramm über die Zuordnung zweier Objekteigenschaften zu den Achsen zeichnen, das die Verteilung der Objekte in diesem Merkmalsraum wiedergibt. Durch erneute Klassifikation erreicht man mit jedem dieser iterativen Schritte eine Verbesserung der Klassifikation und eine Verfeinerung der Klassenhierarchie.

3.4. Genauigkeitsbewertung

Eine Genauigkeitsbewertung („Accuracy Assesment“) der Klassifikationsergebnisse ist bei einer qualifizierten Klassifikation unabdingbar. Hierzu stellt eCognition ebenfalls ein Werkzeug zur Verfügung. Es ist möglich, sich anhand der Klassifikationsstabilität, der besten Klassifizierungsergebnisse und einer Fehlermatrix mit der TTA-Maske (Test and Training Areas) oder Beispielobjekten einen Eindruck über die Genauigkeit der Klassifikation zu verschaffen. Dabei werden die Informationen entweder graphisch oder tabellarisch ausgegeben.

Bei der tabellarischen Auflistung der Fehlermatrix basierend auf der TTA-Maske sind die wichtigsten Werte für den Vergleich einer Klassifikation mit einer Referenz eingetragen. Die eigentliche Konfusions-Matrix zeigt dabei an, wie viele Objekte einer Referenzklasse in der Klassifikation zu den jeweiligen Klassen zugeordnet wurden. Man sieht gut, bei welchen

Klassen es Fehlklassifikationen gibt und kann diese durch Veränderung der Klassenbeschreibung oder –hierarchie beeinflussen.

Diese Art der Genauigkeitsanalyse ist in der Fernerkundung weit verbreitet, und die daraus berechneten statistischen Maße wie Gesamtgenauigkeit („Overall Accuracy“) oder Kappa-Index („Kappa Index of Agreement“, KIA) werden allgemein anerkannt. Der Kappa-Index gibt einen Hinweis darauf, wie stark das Klassifikationsergebnis sich von einer Zufallsklassifikation unterscheidet. Im Gegensatz zur Gesamtgenauigkeit verwendet der Kappa-Index nicht nur die Werte der Hauptdiagonalen in der Fehlermatrix, sondern auch die Zurechnungs- und Weglassungsfehler. Der Hauptvorteil des Kappa-Index liegt in der Möglichkeit, diesen Wert als Vergleichskriterium unterschiedlicher Klassifikationen oder Klassifikationstechniken heranzuziehen [L&K00].

Auf die genauen Formeln soll an dieser Stelle verzichtet und auf das Handbuch der Software eCognition verwiesen werden [DEF01].

3.5. Export-Möglichkeiten

Es gibt mehrere Möglichkeiten, in eCognition Daten zu exportieren. Die bei der Segmentierung entstandenen Bildobjekte können als thematischer Layer in Shape- (.SHP) oder Geotif-Dateien (.TIF) abgespeichert werden. Die Ergebnisse der anschließenden Klassifikation sind als ESRI-ASCII-GRID-Datei (.ASC), ERDAS-Imagine-Bild (.IMG) oder als TIF-Datei (.TIF) exportierbar. Das Speichern der Bildschirmdarstellung in den gleichen Formaten wird auch unterstützt.

Wichtig ist auch die Funktion ganze Klassenhierarchien und Protokolle exportieren zu können. Dadurch ist die Übergabe dieser zu anderen Projekten gesichert. Für Statistische Werte gibt es weiterhin die Möglichkeit der Ausgabe in einer Textdatei.

4. DATENGRUNDLAGE UND DIGITALE VORVERARBEITUNG

4.1. Datengrundlage

Für die vorliegende Arbeit wurden durch die Firma Radarsat International drei Aufnahmen des Satelliten RADARSAT-1 vom Südwesten Bangladeschs zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung 2). Diese Datensätze wurden am 18. August, 11. September und 5. Oktober 2001 von der Region um Khulna im Beam Mode „SAR Standard 5“ aufgenommen. Dabei steht die Zahl fünf für eine entsprechende Position des Radarsensors, die einen Einfallswinkel von 36 bis 42 Grad hat.

Per FTP (File Transfer Protocol) konnten die Daten aus Kanada von einem Datenserver der Firma Radarsat International herunter geladen werden. Jeder Datensatz umfasst dabei sechs Datenpakete, die zusammen zirka 160 MB Speicher belegen und in einem Format bereitgestellt werden, dass konform zu dem Standard vom CEOS (Committee of Earth Observation Satellites) ist. Alle Metadatensätze (CDL, SARL, SART, NVOL und VOL) können mit einem ASCII-Editor betrachtet werden. Die eigentlichen Daten sind in der SARD-Datei abgespeichert, wobei SARD für SAR-Data steht. In ihnen ist für jedes Pixel der Wert der Intensität abgelegt, der aus der Rückstreuung errechnet wurde.

Die Software PCI Geomatica in der Version 8.0 unterstützt das Einlesen der SARD-Dateien und ermöglicht einen Export der Bilddaten in das ERDAS Format. Als Zwischenschritt muss dabei aber eine Datei im PCI Geomatica Format PIX erstellt werden.

Die so erzeugten IMG-Dateien der Originalbilder können nun in der Bildbearbeitungs-Software ERDAS Imagine, welche viele Bereiche der Bildbearbeitung in der Kartographie, Fernerkundung und Photogrammetrie abdeckt, weiter verarbeitet werden. Für die Aufgabe stand die Software in der Version 8.5 zur Verfügung.

4.2. Speckle-Filterung von Radarbildern

Eine Besonderheit von Radardaten, welche allgemein als Speckle bezeichnet wird, sollte vor der eigentlichen Weiternutzung solcher Daten mit Hilfe spezieller Filterungsverfahren in den Bildern reduziert werden. Mit dem Begriff Speckle beschreibt man die körnige Bildstruktur, die speziell bei der Abbildung homogener Objekt-Oberflächen auftritt. Ihre physikalische Ursache liegt bei den Interferenzerscheinungen, das heißt bei der Überlagerung mehrerer

Radiowellen [ALB01]. BUCHROITHNER [BUC89] schreibt: „Bei frequenzgleicher Strahlung benachbarter Quellen, wie sie die rückstrahlenden Objekte liefern, kommt es zu Interferenzen mit Verstärkung und Auslöschung zwischen den einzelnen Wellenzügen und damit zu einer Abhängigkeit des Signals von der Position des Sensors“. Die normalerweise bei digitalen Bildverbesserungen genutzten Filter, wie zum Beispiel der Hochpass- oder der Tiefpassfilter, stoßen bei dieser Art von Bildmaterial sichtlich an ihre Grenzen. Der Lee-Sigma-Filter, der nach seinem Entwickler (J.S. Lee) benannt wurde [H&L98], basiert auf der Annahme, dass der Mittelwert und die Varianz eines Pixels gleich dem Mittelwert und der Varianz aller Pixel innerhalb eines Auswahlfensters ist [EOM01]. In der Software ERDAS Imagine kann die Filterung unter dem Menüpunkt Radar / Radar Interpreter / Speckle Suppression aufgerufen werden.

Die Resultate nach der Filterung sind in Abbildung 15 für einen kleinen Ausschnitt vom Testgebiet zu sehen.

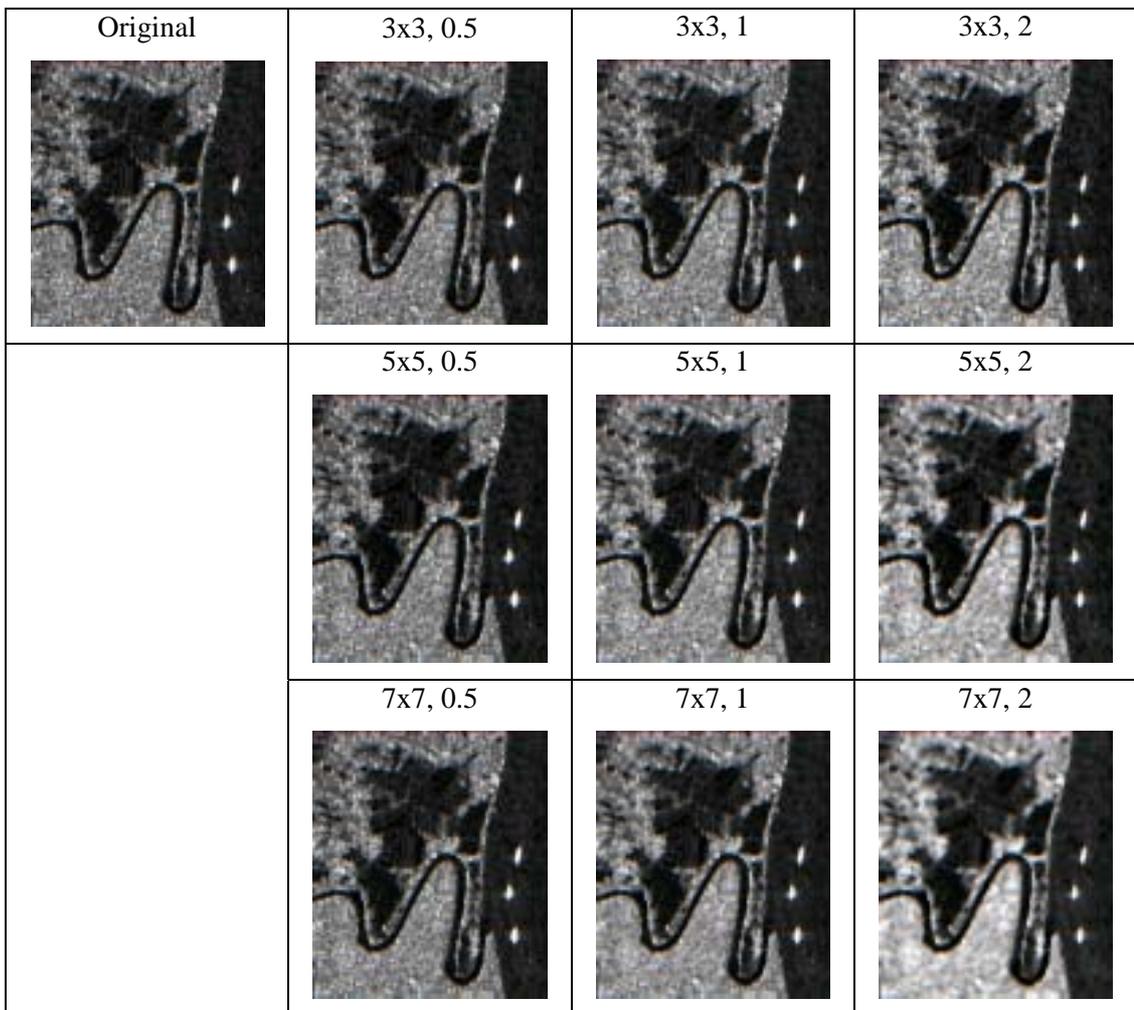


Abbildung 15: Einfluss der Boxgröße und des Multiplikator der Variationskoeffizienten bei der Lee-Sigma-Filterung von Radarbildern

Dabei fällt auf, dass die Größe des Multiplikators des Variationskoeffizienten einen sehr entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Filterung hat. Bei vorprozessierten Daten wird der verwendete Lux-Wert, die gemessene Lichtdichte pro Abstrahlfläche, angegeben. Ist dieser bekannt, dann kann daraus der Multiplikator für die Speckle-Filterung abgeleitet werden. Ist das nicht der Fall muss mit Hilfe von Probebildern die optimale Einstellung gefunden werden. Bei den vorliegenden Probebildern konnte trotz einer Boxgröße von 7x7 Pixeln keine Unterschiede zwischen dem Original und dem mit dem Multiplikator von 0.5 festgestellt werden. Erst bei einer Erhöhung auf 1 oder 2 sieht man deutliche Unterschiede.

Auf Grund der erhaltenen Ergebnisse wurde bei sämtlichen Radarsatellitenbildern eine Lee-Sigma-Filterung mit der Boxgröße von 5x5 Pixeln und einer Multiplikatorgröße von 2 vorgenommen. Der Variationskoeffizient wurde auf dem Standardwert von 0.2 beibehalten. Durch diese Filterung kann das Speckle auf den einzelnen Bildern deutlich reduziert werden.

4.3. Geokodierung der Satellitenbilder

Die gefilterten Satellitenbilder sind zwar georeferenziert, aber noch nicht geokodiert worden. Das heißt es gibt zwar die Information über die geographische Lage der Eckpunkte, aber die Bilder selber sind noch nicht in ein entsprechendes Koordinatensystem transformiert worden. Unter den Metadatensätzen zu jedem RADARSAT-1-Bild befindet sich eine Datei (CDL), in der sich die entsprechenden Koordinaten und anderen Informationen eingetragen sind (Abbildung 16).

Neben den allgemeinen Angaben zu dem jeweiligen Datensatz befinden sich dort auch die geographischen Koordinaten der Eckpunkte der Szene. Diese sind notwendig, um aus dem georeferenzierten Bild ein geokodiertes Bild zu erstellen. Dazu wird die dazugehörige Radaraufnahme in einen Viewer von ERDAS Imagine geladen und unter dem Menüpunkt Raster / Geometric Correction das entsprechende Werkzeug aufgerufen. Mit Hilfe der Einstellung „Polynomial“ für eine polynomiale Entzerrung und der Auswahl einer gewünschten Projektion „UTM WGS 84 North“ sowie „UTM Zone 45 (Range 84E – 90E)“ kann die Geokodierung durchgeführt werden. Letztere Einstellung steht für die Projektion im UTM System (Universal Transverse Mercator) auf dem Referenzellipsoid WGS 84 (World Geodetic System), welches im Jahre 1984 festgelegt wurde. Mit der Angabe der Zone 45 wird der entsprechende Mittelmeridian für die Projektion, hier der 87. Längengrad, festgelegt.

```

RADARSAT 1 SCENE DESCRIPTION

SCENE ID                C0021343
RSI ORDER NUMBER       01-01056-005
GEOGRAPHICAL AREA     BANGLADESH
SCENE START TIME      OCT 05 2001 12:09:29.896
SCENE STOP TIME       OCT 05 2001 12:09:46.250
ORBIT                  30898 ASCENDING
ORBIT DATA TYPE      DEFINITIVE
APPLICATION LUT APPLIED LAND
BEAM MODE              SAR STANDARD 5
PRODUCT TYPE          PATH IMAGE (SGF)
FORMAT                RADARSAT CEOS
NUMBER OF IMAGE LINES 8712
NUMBER OF IMAGE PIXELS 8977
PIXEL SPACING         12.500 m
SCENE CENTRE          22°33'N   89°32'E
CORNER COORDINATES:

22°56'53.52" N  23°08'20.55" N
88°53'53.18" E  89°58'23.83" E

21°58'56.14" N  22°10'26.79" N
89°06'11.04" E  90°10'13.38" E

For information on RADARSAT CEOS format see inside of insert
or type README.TXT

```

Abbildung 16: Metadaten der RADARSAT-1-Szene in der CDL-Datei

Die Polynomiale Entzerrung beziehungsweise geometrische Transformation gehört zu den Interpolationsverfahren, die mathematische Ansätze statt geometrischer Modellierung, wie bei den parametrischen Verfahren, einsetzen und dabei lediglich die Stetigkeit der Abbildung voraussetzen. ALBERTZ [ALB01] schreibt dazu: „Auf Grund dieser Annahme werden unbekannte Koordinaten eines Pixels im Referenzsystem durch Interpolation zwischen benachbarten Passpunkten berechnet.“

Durch einfache Zuordnung der jeweiligen Eckpunkte und der dazugehörigen Referenzkoordinaten ist es möglich, ein Satellitenbild je nach Größe innerhalb weniger Minuten zu geokodieren. Dabei sollte auch auf Beibehaltung der richtigen Auflösung von 12,5 m geachtet werden.

Da keine weiteren Referenzpunkte in Bangladesch bekannt sind, muss wenigstens die Qualität der Entzerrung durch die Überprüfung der Passgenauigkeit der einzelnen Radarszenen relativ zueinander kontrolliert werden. Dazu wurden 26 gut erkennbare Passpunkte, die gleichmäßig über das Bild verteilt sind, ausgewählt. Nach dem Auslesen der X- und Y-Koordinaten aller Passpunkt in jedem Bild kann eine X- und Y-Standardabweichung berechnet werden. Diese betrug für die X-Richtung 8,48 m und für die Y-Richtung 12,38 m. Das heißt die Standardabweichung ist in beide Richtungen kleiner als die Bildauflösung von 12,5 m. Die genaue Berechnungstabelle ist im Anhang zu finden.

5. AKQUISITION UND AUFBEREITUNG VON ZUSÄTZLICHEN GEODATEN

5.1. Daten des ASTER-Sensors

5.1.1. Einführung

ASTER steht für Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (erweitertes weltraumgestütztes Wärmestrahlungs- und Reflektions-Radiometer). Es ist ein passives Fernerkundungssystem auf dem Satelliten Terra (Abbildung 17), das von der NASA und Japan am 18. Dezember 1999 gestartet wurde.

Die drei Teilsysteme, in die das ASTER aufgeteilt ist, sind auf unterschiedliche Spektralbereiche spezialisiert. Dies sind das VINR (Visible and Near Infrared) für das sichtbare Licht und das nahe Infrarot, das SWIR (Short Wave Infrared) für das kurzwellige Infrarot und das TIR (Thermal Infrared) für das ferne Infrarot, welches auch Thermalstrahlung genannt wird.

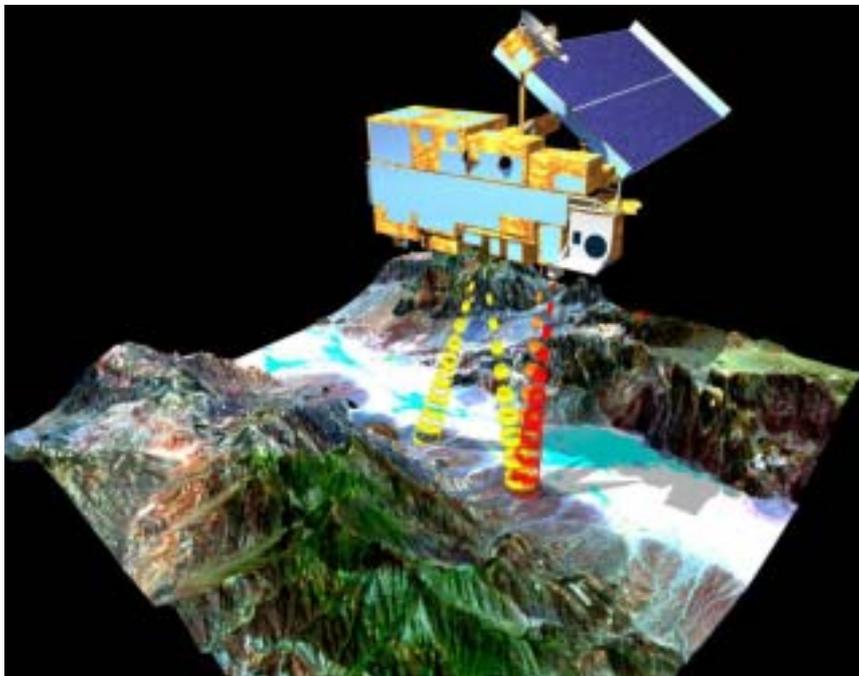


Abbildung 17: Terra Satellit [W-VIE02]

Tabelle 5: Kanäle der ASTER-Daten

Teilsystem	Kanalnummer	Spektralbereich in μm	Auflösung, Bittiefe, und Streifenbreite
Visible and Near Infrared (VNIR)	1	0,52 – 0,60	15 m x 15m 8 bit 60 km
	2	0,63 – 0,69	
	3N (Nadir)	0,76 – 0,86	
	3B (Backward)	0,76 – 0,86	
Short Wave Infrared (SWIR)	4	1,600 – 1,700	30 m x 30 m 8 bit 60 km
	5	2,145 – 2,185	
	6	2,185 – 2,225	
	7	2,235 – 2,285	
	8	2,295 – 2,365	
	9	2,360 – 2,430	
Thermal Infrared (TIR)	10	8,125 – 8,475	90 m x 90 m 12 bit 60 km
	11	8,475 – 8,825	
	12	8,925 – 9,275	
	13	10,25 – 10,95	
	14	10,95 – 11,65	

Ein ASTER-Datensatz verfügt über 15 Kanäle, deren genaue Spezifikation in Tabelle 5 zu sehen sind. Eine Besonderheit sind die Kanäle 3N und 3B. Diese sind beide im gleichen Spektralbereich aufgenommen worden, nur dass der 3B-Kanal nicht senkrecht, wie alle anderen auch, auf den Boden blickt sondern in einem spitzen Winkel. Dadurch ist es möglich, mit Hilfe von mindestens drei Referenzpunkten in der Szene ein digitales Höhenmodell allein aus diesen zwei Bildern zu berechnen. Die genaue Vorgehensweise wird Schritt für Schritt in einer Anleitung der Firma Geosystems erklärt [W-GES02].

Wie die Firma Landscape GmbH in einem Online-Artikel schreibt [W-LAN01], möchte die NASA mit einem einheitlichen Datenformat einen neuen Standard für Fernerkundungsdaten durchsetzen. Mit dem Start von Terra sollen sämtliche Daten der jüngsten Missionen in dem Hierarchical Data Format (HDF) zum Teil sogar kostenlos an alle Interessenten, auch kommerzielle Anwender, vergeben werden. HDF wurde schon 1987 vom National Center for Supercomputing Applications (NCSA) in Illinois vorgestellt. Die grundsätzliche Entscheidung für das neue Format war spätestens mit der Terra-Mission notwendig geworden, bei der gleich fünf verschiedene Sensoren Daten sammeln.

5.1.2. Akquisition der ASTER-Daten

Die ASTER-Daten können über das Earth Observing System Data Gateway [W-EOS00] direkt im Internet bestellt werden. Nach der Auswahl des Sensors und der Einschränkung des Abfragegebietes werden von dem Datenbanksystem die entsprechenden Datenfiles aufgelistet. Die einzelnen Datensätze können mit einer Kartenfunktion grob georäumlich eingeordnet werden. Leider müssen alle Datensätze mit einem kleinen Vorschaubild auf ihre Wolkenbedeckung hin überprüft werden, da dieser Parameter im Fall der ASTER-Daten nicht in der Datenbank zur Verfügung steht. Nach Auswahl der gewünschten Datensätze kann entschieden werden, ob die Daten per FTP (File Transfer Protocol) zur Verfügung gestellt oder auf einem Datenträger (CD-ROM, DVD oder Band) versandt werden sollen. Bei einem Versand treffen die Daten innerhalb von 3 bis 14 Werktagen ein.

Bei der Bestellung ist zu beachten, dass die ASTER-Daten in unterschiedlich aufbereiteten Leveln angeboten werden. Je nach Art der Vorprozessierung wird zwischen Level 1A, 1B, 2, 3 und 4 differenziert (Tabelle 6). Nur die Level 1A und 1B sind zur Zeit kostenlos erhältlich.

Tabelle 6: Beschreibung der Level von ASTER-Produkten [W-ERS02]

Level	Beschreibung
1A	Rekonstruierte, unprozessierte Instrumenten-Daten
1B	Radiometrisch kalibrierte Sensor-Daten
2	Verschiedene aus Level 1B abgeleitete Daten (z.B. Temperatur-Daten)
3	Radiometrisch kalibrierte Sensor-Daten mit Orthophotokorrektur
4	Digitales Höhenmodell

Für das Areal zwischen 22 und 23 Grad nördlicher Breite sowie 89 und 90 Grad östlicher Länge wurden 52 Datensätze (Stand: Januar 2001) in der Datenbank gefunden. 11 Datensätze waren nahezu wolkenfrei. Von diesen überdeckten aber nur wenige die selbe Fläche wie die RADARSAT-1-Bilder. Von dem Abfragesystem der Datenbank wurden auch solche Bilder als Suchergebnis angezeigt, die nur einem minimalen Bildanteil an dem Suchgebiet haben. Drei Aufnahmen (26.4., 29.11 und 15.12.2001) wurden ausgewählt und bestellt.

Jeder Datensatz besteht aus einer HDF-Datei und einer MET-Datei. HDF ist ein Format, bei dem jede Datei durch einen speziellen Header beschrieben wird. Die Headerinformationen sind so aufgebaut, dass mit ihnen klar definiert ist, welche Art von Daten, wie abgelegt sind. In einer Datei können so neben Texten und Tabellen auch Bilddaten gespeichert werden.

Bei den zirka 100 MB großen HDF-Dateien von ASTER sind neben den 15 Bildebenen ebenso allgemeine Informationen, wie zum Beispiel Bahnparameter des Satelliten und die Wolkenbedeckung gespeichert. Die etwa 0,1 MB große MET-Datei enthält die wesentlichsten Metadaten im Klartext. Dazu gehören zum Beispiel der Aufnahmezeitpunkt und die Georeferenzierung für die Eckpunkte der Szene.

5.1.3. Aufbereitung der ASTER-Daten

Das in Moskau ansässige Forschungs- und Entwicklungszentrum ScanEx stellt für die Extraktion der ASTER-Bilddaten aus den HDF-Dateien (nur Level 1A) das Programm „hdfbrowser“ [W-HDF01] kostenlos zur Verfügung. Man erhält damit für jede Bildebene eine nicht georeferenzierte TIF-Datei.

Möchte man die in der HDF-Datei enthaltenen Zusatzinformationen nutzen, gibt es verschiedene HDF-Betrachter. Stellvertretend sei hier der HDF-Explorer [W-HDF02] von der amerikanischen Firma Space Research Software Inc. genannt.

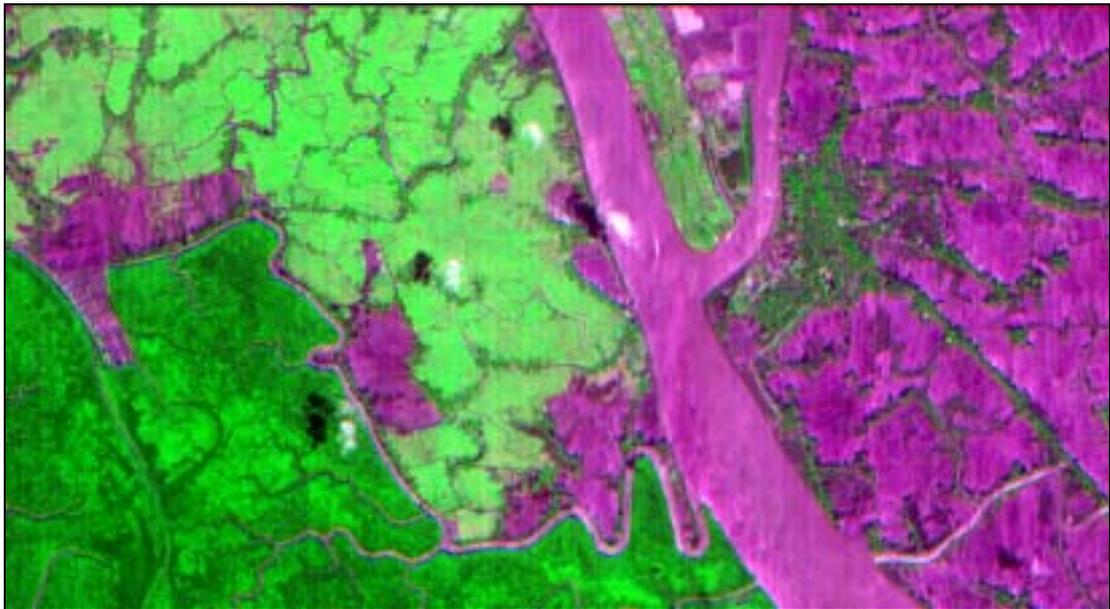


Abbildung 18: Ausschnitt eines Falsch-Farben-Komposit des Satelliten ASTER vom 26.4.2001 über Mongla, Bangladesch
Maßstab zirka 1 : 20 000, (RGB = 2.,3N.,1. Kanal)

Durch das Einlesen der TIF-Bilder in ein Bildverarbeitungsprogramm ist es möglich, aus den mehreren Kanälen ein einziges Falsch-Farben-Komposit zu erzeugen. Hierfür wurde die Software eCognition genutzt, die über eine dementsprechende Funktion verfügt. Das so erzeugte Bild der Kanäle 1, 2 und 3N ist in Abbildung 18 zu sehen. Je nach Zuweisung der einzelnen Kanäle zu den entsprechenden Farben (Rot, Grün und Blau) entsteht ein jeweils

anders koloriertes Bild. In Abbildung 18 sind die Farbzweisungen so gewählt, dass die Vegetationsflächen in der Farbe Grün und die von Wasser überschwemmten Flächen in Violett angezeigt werden.

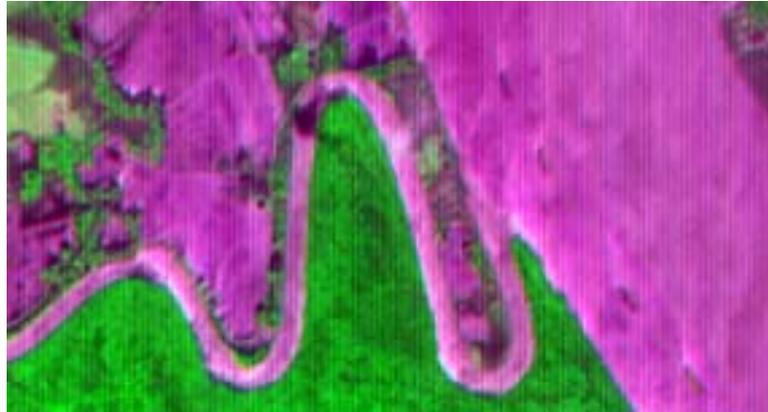


Abbildung 19: Ausschnittsvergrößerung der Abbildung 18 mit linearen Störungen

Ab einer gewissen Vergrößerung der ASTER-Daten entdeckt man schnell ein bekanntes Problem der Daten. Ein Fehler verursacht auf den Bildern eine gleichmäßige Streifenstruktur (Abbildung 19). Da diese auf allen Bildern zu finden ist, scheint es sich um einen Störung im Sensorsystem oder bei der Prozessierung zu handeln. Letzteres ist aber eher unwahrscheinlich, da dieser sicherlich schnell zu beheben wäre.

In der Fernerkundung werden diese störenden Streifenmuster in den meisten Fällen mit Hilfe einer Fouriertransformation beseitigt oder minimiert. Dabei wird das Bild in Frequenzen mit unterschiedlichen Amplituden und Phasen zerlegt. Viele Filteroperationen lassen sich in dem so geschaffenen Frequenzraum wesentlich leichter durchführen. Nach einer Bearbeitung kann dann durch die inverse Fouriertransformation ein gefiltertes Bild erzeugt werden.

In der Software ERDAS Imagine wird unter dem Menüpunkt Image Interpreter / Fourier Analysis diese Methode der Bildverarbeitung angeboten. Trotz mehrerer Versuche konnte nach der Prozessierung der ASTER-Daten keine Verbesserung in diesen festgestellt werden. Warum die Fouriertransformation in diesem Fall nicht die Störungen beseitigt, konnte nicht herausgefunden werden. Das Problem wurde bei der später erfolgenden Segmentierung dieser Daten durch eine besonders große Objektgröße umgangen. Nur bei kleineren Objekten wirkt sich dieser Fehler negativ aus.

Da die bei den ASTER-Daten mitgelieferten Koordinaten der Eckpunkte nur sehr ungenau sind, musste eine Geokodierung mit Hilfe der RADARSAT-1-Bilder erfolgen. Hierzu wurden alle ASTER-Daten auf die Szene vom August mit Hilfe von zirka 30 gleichmäßig über dem Bild verteilten Referenzpunkten in die UTM-Koordinaten der Zone 45

umprojiziert. Schwierigkeiten bereitete dabei die genaue Verortung in den stärker verwaschten Radarbildern.

5.2. UNEP/GRID Datensatz

5.2.1. Einführung

Eine von der Firma Definiens für die Arbeit entwickelte Idee war die Involvierung statistischer Daten in das Projekt. Es sollte gezeigt werden, dass solche Informationen neben den üblichen Fernerkundungsdaten von Nutzen sein können. In erster Linie wurde dabei in Bezug auf das Thema Überflutung an die Bevölkerungsdichtedaten gedacht. Die arithmetische Bevölkerungsdichte gibt die Zahl der Einwohner pro Flächeneinheit an.

Durch die Verknüpfung der statistischen Daten mit Flutklassifizierungen könnte eine Gefahrenkarte abgeleitet werden, die zur Koordinierung möglicher Gegenmaßnahmen dienen würde.

Das Umweltprogramm UNEP (United Nations Environment Programme) der Vereinten Nationen (UNO) entwickelte eine Datenbank mit dem Namen GRID (Global Resource Information Database). Der Schwerpunkt der Datensammlung liegt offensichtlich bei den Kontinenten mit der geringsten Entwicklung (Südamerika, Afrika, Asien). In ihr sind besonders Daten zur Bevölkerungsentwicklung in diesen Gebieten abgelegt. Für Afrika und Südamerika existieren Bevölkerungsdichtedatensätze von 1960 bis 1990 im Abstand von zehn Jahren. Dadurch lassen sich die Entwicklungen sehr gut nachvollziehen.

Für den asiatischen Raum gibt es nur Daten aus dem Jahre 1995. Weiterhin wurde das Gebiet in vier Teilgebiete unterteilt (Ost-, Süd-Zentral-, Süd-Ost- und West-Asien). Die Auflösung der Daten beträgt 5 km. Das heißt, dass die Bevölkerungsdichte für eine Fläche von 25 km² angegeben wird (Abbildung 20).

5.2.2. Akquisition des UNEP/GRID Datensatzes

Die Beschaffung über die offizielle Internetseite [W-UNE02] gestaltet sich einfach. Nach der Auswahl der gewünschten Daten und der Angabe von einigen statistischen Informationen (Name, E-Mail, Art der Nutzung) können die Bevölkerungsdaten sofort per FTP aus dem Internet geladen werden.

5.2.3. Aufbereitung des UNEP/GRID Datensatzes

Man erhält eine gepackte Datei, die eine TIF-Bilddatei und drei Metadatenätze umfasst. Mit Hilfe der in den Metadaten angegebenen Referenzkoordinaten der Eckpunkte kann dieser Datensatz mit der Software ERDAS Imagine in die Projektion der anderen Datensätze (UTM, WGS84, Zone 45) umgewandelt werden. Nach dem Erzeugen eines kleineren Bildausschnittes (Subset) ist der Datensatz für die Nutzung in eCognition vollständig aufbereitet.

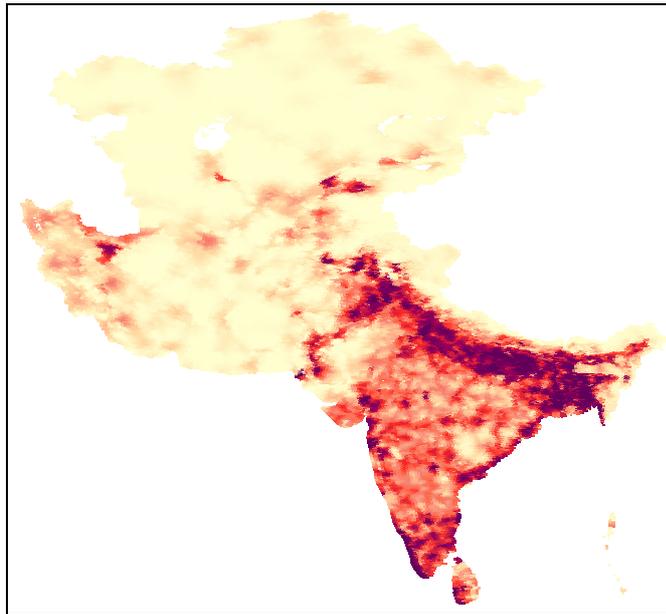


Abbildung 20: UNEP/GRID Bevölkerungsdichte von Süd-Zentral-Asien (Auflösung: 5km) [W-UNE02]

5.3. LandScan 2000

5.3.1. Einführung

In der Ausgabe April/Mai 2002 der Zeitschrift GEOINFORMATICS [GEO02] wurde ein neuer, hochauflösender, globaler Datensatz der Bevölkerungsdichte vorgestellt (Abbildung 21). Die LandScan 2000 Daten bringen mit einer Rasterauflösung von 1 km² gegenüber den 25 km² des UNEP/GRID eine große Qualitätsverbesserung. Sie wurden aus einer Vielzahl verschiedener, globaler Datensätze abgeleitet. Hierbei sind vor allem die Vektorkarten-Serie (VMAP), die Digitalen Geländehöhen Daten (DTEM, Digital Terrain Elevation Data) der NIMA (National Imagery and Mapping Agency's) und die Daten der Globalen

Landbedeckung (GLCC, Global Land Cover Characteristics) des USGS (United States Geological Survey's) zu nennen. Weiterhin wurde ein weltweiter Datensatz der Lichtquellen zur Nachtzeit mit verarbeitet. Dabei mussten auch beachtet werden, dass in unterentwickelten Regionen ohne Stromzufuhr teilweise mehr Menschen leben als in stark erleuchteten Städten dieser Erde.

Die feinere Auflösung dieser Daten führte dazu, dass die UNEP/GRID-Daten für diese Arbeit nicht mehr genutzt wurden.



Abbildung 21: LandScan 2000 Daten [W-LAS02]

5.3.2. Akquisition der LandScan 2000 Daten

Nach offiziellen Angaben sollen die Daten auf einer Webseite im Internet zum Download bereitstehen [W-LAS02]. Da der Betreiber Probleme mit Bereitstellung hatte, wurde eine Zusendung der Daten über den Postweg zugesichert. Diese erfolgte binnen weniger Tage.

5.3.3. Aufbereitung der LandScan 2000 Daten

Die Daten lagen als ARC/VIEW-BIL-Datei (band interleaved by line) vor und konnten in die Software ERDAS Imagine eingelesen werden. Die Daten wurden in einem weiteren Schritt über das Menü Data Preparation / Reproject Images in die UTM Projektion transformiert, da die LandScan 2000 Daten ursprünglich nur mit den Geographischen Koordinaten vorlag. Da der 700 MB große Datensatz ganz Zentralasien beinhaltet, wurde durch die Auswahl eines Subset von Bangladesch der Speicherbedarf reduziert. Die danach exportierte IMG-Datei konnte in der Software eCognition als thematischer Layer genutzt werden.

5.4. Topographisches Kartenmaterial der Region

Eine weitere sehr wichtige Informationsquelle sind Karten. Wenn man keine Möglichkeit hat, ein Gebiet vor Ort zu untersuchen, ist es wichtig das kartierte Wissen zu begutachten. Aus ihnen können bei hoher Qualität viele Daten abgeleitet werden, die nur schwer aus Satelliten- oder Luftbildern zu extrahieren sind. Dazu gehören zum Beispiel Straßen oder Eisenbahngleise, die durch angrenzende Bäume fast vollständig verdeckt sind. Man kann auch von einem Hausdach nicht auf die Nutzung des Gebäudes als Rathaus oder Wohnhaus schließen. Darum ist es wichtig, sich für ein solches Projekt Kartenmaterial zu beschaffen. Nach Auskunft der Firma GeoCenter aus Stuttgart, einem der größten deutschsprachigen Zwischenbuchhändler für Landkarten der ganzen Welt, sind zur Zeit alle großmaßstäbigen, amtlichen, topographischen Karten von Bangladesch aus politisch und militärischen Gründen für den Handel gesperrt. Es war deshalb notwendig, nach älteren Kartenbeständen in Bibliotheken, im Fachhandel sowie nach im Internet verfügbaren Karten zu suchen.

Karten der Region, die einen Maßstab größer als 1 : 1 000 000 besitzen, sind hierzu genauer studiert worden. Die russische Generalstabskarte und die internationale Weltluftfahrtkarte konnten durch ihre mangelnde Aktualität oder die minimalen Landschaftssignaturen nicht genutzt werden. Eine Kartenserie der amerikanischen Navy wurden durch ihren großen Maßstab und ihren Stand von 1960 nur bedingt zur Orientierung herangezogen. Qualitativ bessere Karten als diese konnten auch nicht im Internet gefunden werden.

5.4.1. Russische Generalstabskarten

Für die ehemalige Sowjetunion war eine umfangreiche Kartierung der Erde beziehungsweise der geopolitisch relevanten Gebiete von großem Interesse. So sind heute weite Teile des eurasischen Kontinentes von der Russischen Generalstabskarte erfasst. Obwohl für die Karten das kyrillische Alphabet genutzt wird, werden sie häufig verwendet, da es zum Teil keine vergleichbaren, frei verfügbaren Karten im Maßstab 1 : 200 000 gibt.

Seit dem politischen Umbruch Anfang der 90er Jahre ist diese Kartenserie auch öffentlich zugänglich. In Deutschland besteht die Möglichkeit, zum Beispiel über den Outdoor-Ausrüster Därr [W-DÄR01] verfügbare Kartenblätter zu kaufen. Bei einer Betrachtung der entsprechenden Kartenblätter in der Hauptfiliale in München stellte sich schnell heraus, dass auf Grund des mangelnden Informationsgehaltes und der Aktualität (Stand 1956) von einer Beschaffung und Nutzung dieser Kartenblätter Abstand genommen werden musste.

5.4.2. Internationale Weltluftfahrkarte

Die internationale Weltluftfahrkarte oder auch World Aeronautical Chart ist ein Weltkartenwerk, das der Luftnavigation dient und ständig laufend gehalten wird. Die im Maßstab 1 : 1 000 000 frei verfügbare Kartenserie ist seit 1947 offizielles Kartenwerk der Weltluftfahrtorganisation (ICAO) und wird dezentral von den größeren Staaten nach einheitlichen Richtlinien bearbeitet [OGR83].

Bei der genaueren Begutachtung der entsprechenden Kartenblätter bei der Firma Geobuch in München wurde auch hier schnell klar, dass eine Nutzung dieser Kartenblätter für das Projekt nicht sinnvoll war. Ausschlaggebend für diese Entscheidung waren der zu kleine Maßstab und die wenigen Signatur der Erdoberfläche.

5.4.3. Karten der Marine der U.S.A.

Die Bayrische Staatsbibliothek mit ihrem Sitz in München ist bekannt für ihre umfangreiche kartographische Sammlung, welche mehrere tausend Kartenblätter, etliche Atlanten und Literatur umfasst. Bei der Suche nach Karten der Region von Bangladesch stößt man neben historischen, handgezeichneten Originalblättern in der Landessprache Bengali und wenigen modernen Touristenkarten auch auf die Kartenblätter der Marine der Vereinigten Staaten von Amerika. Die U.S.A. haben ebenso wie die ehemalige Sowjetunion auf Grund ihrer geopolitischen Bedeutung große Teile der Erdoberfläche sehr gut kartographisch erfasst.



Abbildung 22: Ausschnitt des Kartenblattes "Khulna" der Kartenserie "India and Pakistan" des US Army Map Service von 1960, Maßstab 1 : 250 000 (S/W-Kopie)

Das Kartenblatt „Khulna“ der Kartenserie „India and Pakistan“ (Series U502) aus dem Jahr 1960 vom Army Map Service mit Sitz in Washington, D.C., zeigt ein Teilgebiet des damaligen Ostpakistans und heutigen Bangladeschs. Die Abdeckung des Aufnahmegebietes der Radarszenen ist fast vollständig. Mit einem Maßstab von 1 : 250 000 ist es zwar eine kleinmaßstäbige Karte, aber für dieses Gebiet mit der geringen Infrastruktur durchaus noch akzeptabel.

Der in Abbildung 22 gezeigte Ausschnitt, ist eine Schwarz-Weiß-Kopie der farbigen Originalkarte. Es war nicht möglich, diese Karte auszuleihen oder in der Bibliothek anders zu vervielfältigen. Eine Gelegenheit, dieses Kartenblatt käuflich zu erwerben, konnte trotz intensiver Suche nicht gefunden werden.

Das Hauptaugenmerk der Herausgeber lag offensichtlich auf der Siedlungs- und der Transportinfrastruktur. So sind Siedlungen bis zu einer Größe von 5 000 Einwohnern, Eisenbahnen, Flughäfen und schiffbare Gewässer eingetragen. Bei Straßen wird sogar zwischen fünf Klassen unterschieden. Die in einem zarten Grün gehaltenen Waldflächen gingen bei der Schwarz-Weiß Kopie leider völlig verloren.

5.4.4. Karten im Internet

Seit der fortschreitenden Ausbreitung des Internets in den 90er Jahren und der damit einhergehenden Entwicklung der Übertragungskapazitäten sowie Verbesserung der Anwenderfreundlichkeit wird es auch immer häufiger für die Verbreitung, Bereitstellung oder auch Archivierung von einzelnen Karten, ganzen Sammlungen und Bibliotheksbeständen genutzt. Eine einfache Suche über bekannte Suchmaschinen, wie zum Beispiel Google [W-GOO01], die laut eigener Angabe mehr als zwei Milliarden Internetseiten (Stand: 16.5.2002) erfasst hat, bringt bei geeigneter Auswahl der Suchbegriffe (z.B.: „+map +bangladesh“) schon eine beträchtliche Anzahl an potentiellen Treffern. Die Qualität der einzelnen Suchergebnisse muss dann begutachtet werden. Wie aber das Magazin *c't* bemerkt, erfassen solche Archive nur jeweils einen Bruchteil der verfügbaren Daten [MCT02]. Der Rest wird auch als „invisible Web“ oder „deep Web“ bezeichnet.

Um trotzdem möglichst viele Hinweise zu bekommen, ist es zweckmäßig, ein gewisses Suchschema aufzubauen. Dabei hilft die Überlegung, wo im Internet Karten von der Region vorhanden sein könnten. Gibt es spezielle kartographische Archive? Welche Online-Atlanten decken das Suchgebiet ab?

Für eine mögliche Nutzung der Karten zur Ermittlung der Klassifikationsgüte wurde nach großmaßstäbigen Karten im Bereich 1 : 50 000 gesucht, die Infrastruktur, Siedlung und Vegetation wiedergeben. Dieses Ziel musste auf Grund der mangelnden Ergebnisse revidiert

und qualitativ entschärft werden. So wurde nur noch allgemein nach Karten gesucht, die das Untersuchungsgebiet abdecken und Information enthalten, die als Referenz bei einer Klassifizierung dienlich sein könnten. Leider fiel auch nach dieser Maßnahme die Anzahl der Resultate eher gering aus.

Als erstes sind hier die zwölf Karten der offiziellen Regierungsseite Bangladeschs zu nennen [W-BAN02]. Von den eingescannten Karten, die wahrscheinlich im A4-Format vorlagen, gibt eine die Lage des Landes auf dem Kontinent und sieben die landesweite Verteilung von Bevölkerung, Transportsystemen, Flussläufen und ähnliches wieder. Bei den weiteren Karten handelt es sich um Straßenkarten der vier größten Städte, die sich aber im wesentlichen nur auf Straßenverläufe und -namen beschränken. Die landesweiten Karten besitzen einen Maßstab von 1 : 2 000 000 und sind damit auch für die regionale Nutzung nicht tauglich. Die Stadtpläne zeigen nur die Straßeninfrastruktur und enthalten keine Information über Bebauung oder Vegetation.

Das Kartenarchiv der Universität von Texas in Austin, U.S.A., ist für die umfangreiche Bereitstellung von Karten im Rasterformat bekannt [W-UTA02]. Für das Land Bangladesch werden dort vier Karten angeboten, von denen drei in guter Qualität vorliegen, aber auf Grund ihres zu kleinen Maßstabs zwischen 1 : 2 000 000 und 1 : 4 000 000 nicht zur Auswertung genutzt werden konnten. Der Ausdruck der Karten sorgte lediglich für eine bessere Orientierung.

Die Sektion für Kartographie der Vereinten Nationen [W-UNO02] bietet Karten einiger Gebiete im PDF-Format (Portable Document Format) an. Die dort verfügbare Karte von Bangladesch ist zwar qualitativ gut, aber ebenfalls durch den Maßstab von 1 : 3 000 000 nur zur Orientierung zu gebrauchen.

Die Aufzählung von Karten im Rasterformat soll an dieser Stelle abgebrochen werden. Es gibt viele weitere Quellen, aber die Qualität lässt nach kartographischen Gesichtspunkten in vielen Bereichen stark zu wünschen übrig. Oft ist aber auch einfach nur der Maßstab der online gestellten Karten zu klein. Ein Fehlen von Grundlagenkarten ist das generelle Problem, das heißt Karten, die aus einer Topographischen Landesaufnahme hervorgegangen sind. Wünschenswert wäre eine weltweite Verfügbarkeit von freiem Kartenmaterial ähnlich den Topographischen Karten im Maßstab 1 : 50 000 der Bayrischen Vermessungsverwaltung für den Freistaat Bayern [W-BAY02].

Neben den gescannten und im Rasterformat vorliegenden Karten gibt es auch noch solche, die auf einer Datenbank aufbauen und im Vektorformat vorliegen. Bei jedem Abruf über das Internet werden die Karten daraus neu berechnet. Erst nach einer Umwandlung in ein webtaugliches Rasterformat werden sie für die Nutzer bereit gestellt. Ein typischer Vertreter dieser Art von Online-Karten ist das Angebot von Maporama [W-MAP02]. Leider ist auf Grund der schlechten Datengrundlage in den Entwicklungsländern auch bei diesen Karten

nur ein Minimum an Information für das Projekt interessant. Für die Industrienationen sind diese Datenbanken schon sehr gut ausgebaut und können bei der Überprüfung von Klassifikationsergebnissen nützlich sein.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Karten, die es zur Zeit von Bangladesch im Internet gibt, nur der Orientierung dienen können. Möglicherweise gibt es in den nicht durchsuchten Bereichen des weltweiten Netzes bessere Karten. Dabei sei auch auf das Problem verwiesen, dass die heutigen, freizugänglichen Suchmaschinen, die Suche nach Schriftzeichen in Rastergraphiken mit Hilfe von OCR-Verfahren (Optical Character Recognition) noch nicht unterstützen. Für Suchmaschinen die Bilder auflisten, ist zur Zeit nur der Dateiname des Bildes und die Umgebung, in der es eingebettet wurde, ausschlaggebend.

6. MODULARE KLASSIFIKATIONSSTRATEGIE

6.1. Einführung

Im folgenden Abschnitt soll nun eine Strategie aufgezeigt werden, die es ermöglicht, effizient Informationen aus den vorliegenden Radar-Daten abzuleiten. Hierbei sollen auch die zusätzlich beschafften Daten von ASTER und Landsat 2000 einfließen.

Die übliche Vorgehensweise mit der Software eCognition bei Aufgabenstellungen dieser Art ist es, eine Reihe von Bilddaten in ein Projekt einzuspeisen und miteinander zu verarbeiten. Wird die Anzahl der einfließenden Daten erhöht, steigt automatisch die Komplexität solcher Projekte. Das heißt, es wird schwierig, zum Beispiel einen Datensatz eines neuen Sensors (z.B. RADARSAT-2) später in ein solches Projekt einzubauen. Um dem vorzubeugen, ist es sinnvoll, die Aufgaben in mehrere Teilprojekte zu untergliedern. Der Vorteil dabei liegt in der klaren Überschaubarkeit der kleineren Projekte sowie der wesentlich einfacheren Veränderbarkeit. Es können jederzeit neue Sensordaten aufgenommen und mit den bereits erarbeiteten thematischen Layern verknüpft werden. Eine schematische Darstellung der Strategie wird in Abbildung 23 gezeigt.

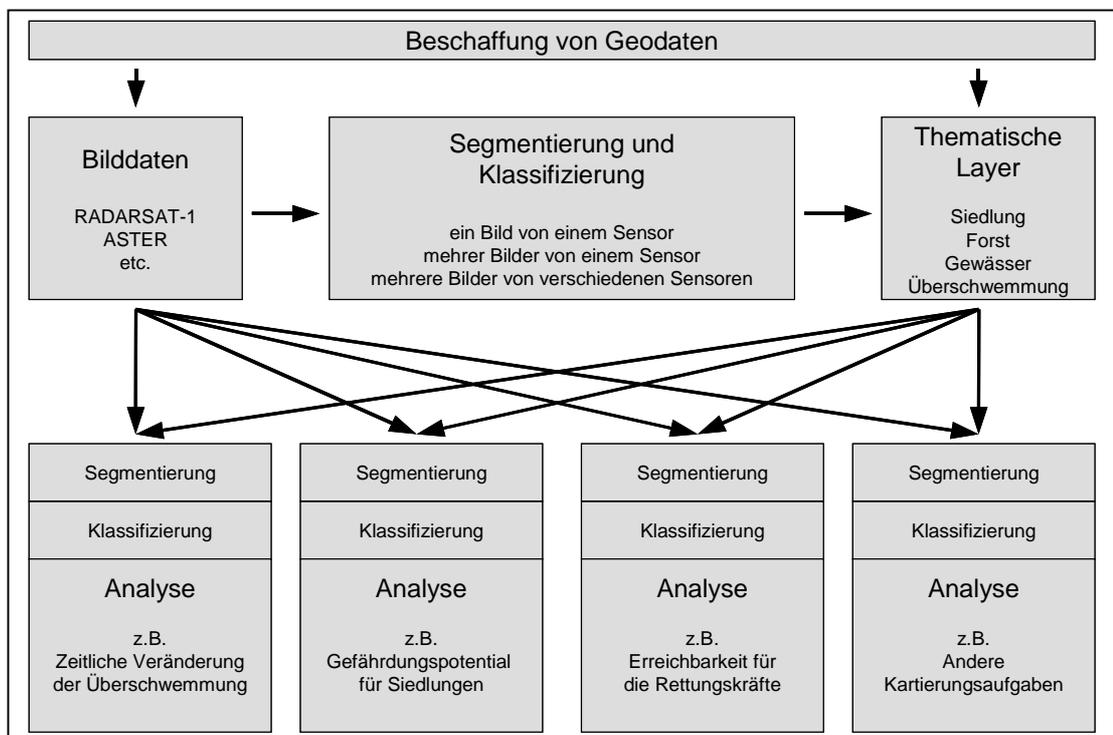


Abbildung 23: Flussdiagramm der Klassifizierungsstrategie

Die oben beschriebene Beschaffung der Geodaten kann über den Einkauf kommerzieller Daten oder den Download von kostenlosen Daten erfolgen. Dabei ist zwischen Bilddaten und thematischen Layern zu unterscheiden. Aus den Bildern werden neben den verfügbaren thematischen Layern neue abgeleitet. Dies kann durch die Klassifizierung eines einzelnen Datensatzes erfolgen. Ein Beispiel hierfür wäre die Klassifizierung der Überschwemmungsgebiete am 5.10.2001 aus einer RADARSAT-1-Szene. Da sich aber einige Klassifikationsziele mit nur einer Aufnahme nicht erreichen lassen, kann man für einen anderen thematischen Layer natürlich auch mehrere Datensätze nutzen. Diese können sowohl von einem Sensor stammen, aber auch von verschiedenen aufgenommen worden sein.

Durch dieses Vorgehen wird erreicht, dass man sich nicht auf die Nutzung der Bilddaten als solche konzentriert, sondern den Schwerpunkt auf die optimale Generierung eines thematischen Layers legt. Durch die jeweilige Eigenständigkeit der Erzeugung der verschiedenen Layer ist es möglich, jederzeit die Erstellung eines Layers vollständig zu überarbeiten oder durch ein neues Verfahren zu ersetzen. Sollte zum Beispiel mit Hilfe eines weiteren Sensors die Erkennung von Siedlungen verbessert werden, so ist ein Umbau des Verfahrens zur Ermittlung des Siedlungslayers sofort möglich. Alle auf diesen Layer aufbauenden Projekte können danach auf diesen neu generierten thematischen Layer zurückgreifen. Ein weiterer Umbau ist nicht notwendig.

Die Analyse-Projekte sind wiederum eigenständige eCognition-Projekte, die auf die Bilddaten und die vorher importierten oder generierten thematischen Layer aufbauen können und jede für sich abgeschlossen sind. So kann für den einen Nutzer die Lage der Siedlungen zu den Überschwemmungsgebieten wichtig sein, ein anderer Kunde ist nur an den betroffenen Agrarflächen interessiert. Beide Projekte können auf unterschiedliche thematische Datenlayer zurückgreifen und so jeweils das Optimum an Informationen vermitteln. Die Resultate können auch als neue thematische Layer für anderen Analyse-Projekte dienen.

Der Vorteil dieser Strategie ist, dass durch minimale Input-Änderungen nicht gleich alle Analysen, die darauf aufbauen, überarbeitet werden müssen. Dies ist bei Anwendungen der Fall, bei denen alle Schritte in nur einem einzigen eCognition-Projekt eingebettet sind und durch Hinzufügen eines weiteren Bildlayers alte Klassifizierungshierarchien komplett umgebaut werden müssen.

Die neue Strategie ist solchen Einflüssen gegenüber sehr flexibel und kann ohne Problem modifiziert, erweitert und verbessert werden.

6.2. Auswahl des Testgebietes

Die oben genannte Klassifikationsstrategie soll im folgenden an Hand eines Beispiels verdeutlicht und die Klassifikationen mit Hilfe von Genauigkeitsanalysen untersucht werden. Dazu wurde ein Testgebiet innerhalb der von dem Satellit RADARSAT-1 abgedeckten Szenen ausgewählt. Es wurde beachtet, dass eine gute Abdeckung dieses Testgebietes durch die frei verfügbaren Daten des ASTER-Sensors gewährleistet ist. In Abbildung 24 kann man sehen, wie die drei Radarbilder und die drei multispektralen Bilder zueinander liegen. Das eingezeichnete Testgebiet besitzt mit einer Ost-West Ausdehnung von 18,75 km und einer Nord-Süd Ausdehnung von 12,5 km eine Fläche von 230,375 km²

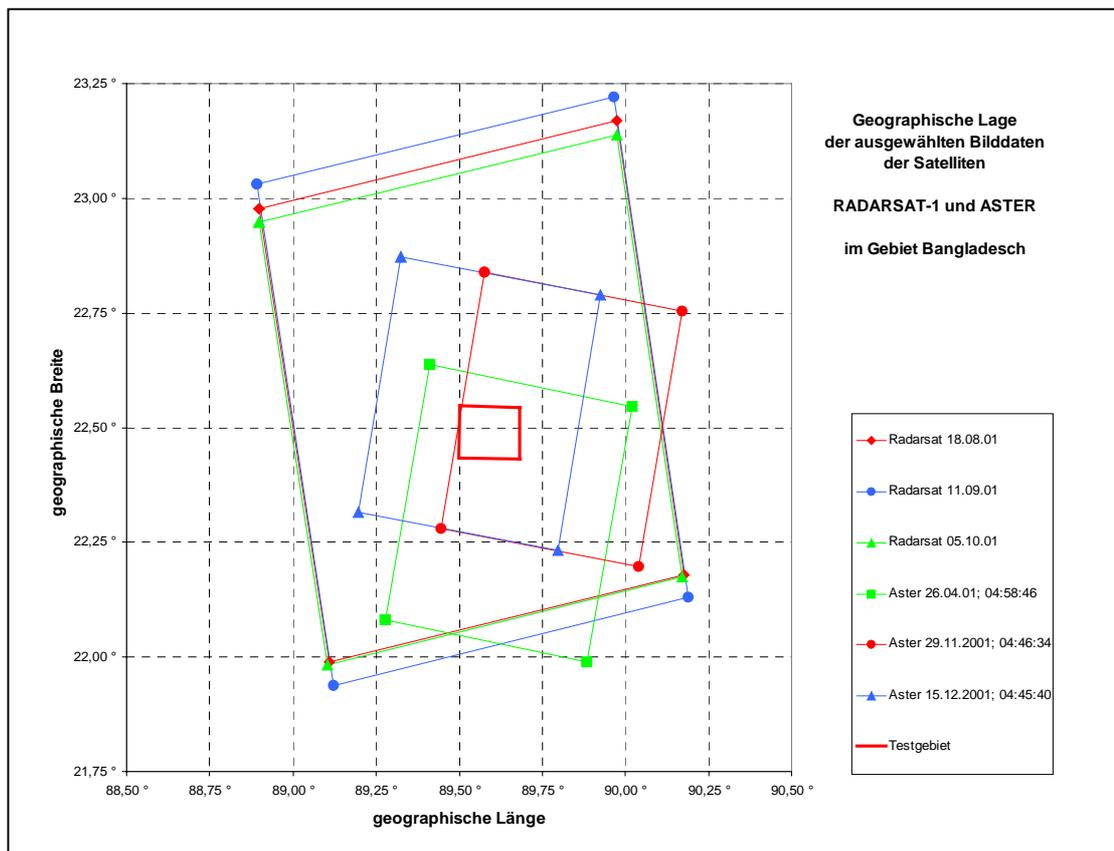


Abbildung 24: Geographische Lage der Satellitenbilder und des Testgebietes

Das Areal enthält einen großen Fluss samt Nebenflüssen, überschwemmte Gebiete, Mangrovenwälder sowie die Stadt und den Hafen Mongla. Im Zentrum dieses Testgebietes findet sich der von Norden nach Süden fließende Fluss Passur, der auf dem Ausschnitt eine

Breite von zirka 1,5 km aufweisen kann sowie die Einmündung des von Osten zufließenden Mongla Nulla.

An dem Zusammenfluss dieser beiden Ströme befindet sich der internationale Hochseehafen Mongla. Die 65 nautischen Meilen bis zum Golf von Bengalen können selbst größere Schiffe auf den breiten Flüssen ohne Probleme zurücklegen. Der Hafen ist Umschlagplatz vieler Waren für Bangladesch. Als Mitglied der Vereinten Nationen ist Bangladesch aber auch verpflichtet, Binnenländern einen Zugang zum Meer zu gewähren. Die Verbindung zum Ozean wird so zum Beispiel dem Binnenland Nepal an diesem Hafen und auch in Chittagong, einem weiteren großen Hafen von Bangladesch, durch Internationale Verträge ermöglicht.

Der in Abbildung 25 gezeigte Ausschnitt der Radarszene (siehe Abbildung 2) gibt das ausgewählte Testgebiet wieder. Man sieht sehr deutlich die geringen Reflektionswerte (schwarz) des Passur-Flusses. Die Wasseroberfläche wirkt wie ein Spiegel und von den schräg einfallenden Radarstrahlen erreicht den Satellitensensor annähernd keine Rückstreuung. Ähnliche Effekte sind auch an anderen, glatten Oberflächen, wie zum Beispiel einer Asphaltstraße, zu sehen. Dies führt zu einer schwierigen Unterscheidbarkeit solcher Objekte.

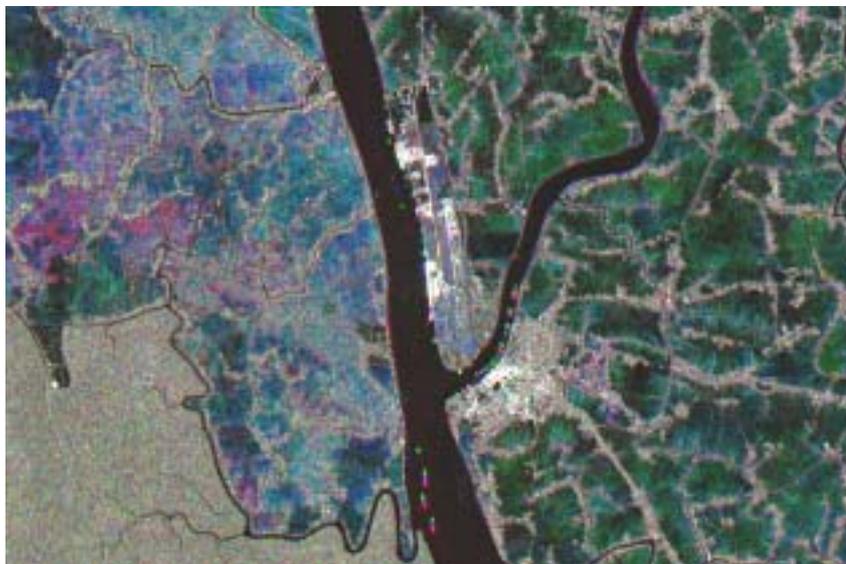


Abbildung 25: RADARSAT-1 Falsch-Farben-Komposit des Testgebietes
Rot = 18. August 2001, Grün = 11. September 2001, Blau = 5. Oktober 2001

Weiterhin sind im Südwesten die ausgedehnten Mangrovenwälder zu sehen, welche durch ein sehr homogenes Rückstreuerverhalten gekennzeichnet sind. Die Schatten der Vegetation bewirken diese ausgeprägte Textur in dem Bereich des Bildes. Diese Tatsache und der hohe Anteil der Rückstreuung durch die Vegetation sind ausschlaggebend für den starken

Speckle-Effekt in diesem Gebiet. Bei einer stärkeren Vergrößerung dieser Teilgebiete ist zu erkennen, dass die offensichtlich homogene Fläche aus einer Vielzahl unterschiedlicher Rückstreuungssignale verschiedener Reflektionen zusammengesetzt ist. Doch die geringe Artenvielfalt der Pflanzenwelt in den Mangrovenwäldern lässt diese Gebiete auf dem Bild als homogene Fläche erscheinen.

Werden im Gegensatz dazu die anderen Flächen westlich des Passur-Flusses betrachtet, ist zu erkennen, dass dort die Heterogenität durch die stärkeren Unterschiede während der einzelnen Aufnahmen deutlich ansteigt. Die Veränderungen in der Natur können mit dem großen zeitlichen Abstand der Radarszenen erklärt werden.

Am östlichen Ufer des Passur-Flusses befindet sich die Stadt Mongla, welche durch den Nebenfluss Mongla Nulla in einen nördlichen und südlichen Teil getrennt wird. Der südliche Teil wird als Wohn- und Lebensraum der zirka 2 000 Einwohner genutzt. Der nördliche Teil wird durch die Hafenanlagen geprägt. Von der eine Million Einwohner zählenden Großstadt Khulna führt eine Straße bis zum Hochseehafen in Mongla. Die eigentliche Stadt Mongla ist aber nur über eine Fährverbindung zu erreichen. Dies ist in Bangladesch jedoch keine Seltenheit.

Die einheitlich dunkle Färbung der östlich des Passur-Flusses gelegenen Gebiete in Abbildung 25 sind durch gleichmäßige Überschwemmung dieser Flächen verursacht. Es kann aber nicht bestimmt werden, ob es sich hierbei um natürliche Überschwemmungen oder um von Menschenhand überflutete Felder für den Reisanbau handelt. Dazu müssten die genaue landwirtschaftliche Nutzung dieser Flächen durch die einheimische Bevölkerung bekannt sein. Die in Bangladesch üblichen drei Anbauzyklen Rabi (Nov./Dez bis März/April), Karif (April bis Aug./Sept.) und Agrhan oder Haimantik (Aug. bis Dez.) verlaufen synchron zu den klimatischen Jahreszeiten. Trotzdem lässt sich nicht aus dem vorhandenen Datenmaterial ableiten, ob es sich um eine gewollte oder abflussbedingte Überschwemmung handelt [ISK93].

Bei der Suche nach geeignetem Informationsmaterial über das Testgebiet war die Homepage des Schweizer Andreas Hefti besonders interessant [W-HAH02]. Er bereiste von September bis Oktober 2000 Bangladesch und hielt sich während eines Besuches der Sundarbans in der Stadt Mongla auf. Um sich einen kleinen Eindruck von dem Gebiet verschaffen zu können, sind seine Photos im Anhang abgedruckt.

6.3. Klassifizierung von Wasserflächen

6.3.1. Erstellen der Layer für Überflutungsgebiete

Für jedes Radarbild kann ein eigener Layer der jeweiligen Wasserbedeckung erzeugt werden. Wasserflächen zeichnen sich bei einem Radarsystem als sehr dunkle Fläche ab. Die relativ glatte Wasseroberfläche reflektiert die meisten Radarwellen nicht zum Sensor zurück. Da aber in der Natur keine absolut glatte Wasseroberfläche existiert, wird auch hier ein kleiner Anteil der elektromagnetischen Wellen zurückgestreut.

Uferbereiche und Flüsse, die durch überhängende Baumkronen stark verdeckt werden, sind durch erhöhte Rückstreuwerte gekennzeichnet. Trotzdem zeichnen sie sich im Bild noch deutlich von den umliegenden Gebieten ab. Diese Bereiche können mit Hilfe von Nachbarschafts- und Formbeziehungen mit der Software eCognition erkannt werden. Ebenfalls über Nachbarschaftsbeziehungen können auch Schiffe auf den Flüssen erkannt werden.

Eine kurze Beschreibung des Regelsatzes soll als nächstes für ein besseres Verständnis der Klassifikation sorgen, bevor auf die Detailfragen eingegangen wird. Grundsätzlich wird am Anfang der meisten Klassifizierungen zwischen Bild- und Randbereichen unterschieden, da letztere nicht klassifiziert werden sollen. Danach wird im ersten Level zwischen den Klassen „Wasser mit geringer Rückstreuung“, „Wasser mit erhöhter Rückstreuung“, „Stadtgebiet“, „Städtische Vororte“ und „Land“ differenziert.

Nach der ersten Klassifizierung werden alle Schiffe im Radarbild als „Stadtgebiet“ oder „Städtische Vororte“ klassifiziert. Auf Grund der kleinen Objektgrößen im ersten Level sind Schiffe auf den Flüssen meist in mehrere Teilobjekte getrennt und es kann keine qualifizierte Klassifizierung über Nachbarschaftsbeziehungen geschehen. Für einen Überflutungslayer ist es aber erwünscht, dass auch die Flächen der Schiffe als Wasserfläche klassifiziert werden.

Darum wurde eine zweites Level mit größeren Objekten erzeugt. In diesem können mit Bezug auf die Objekte aus dem ersten Level die Schiffe klassifiziert werden. Bei einer erneuten Klassifizierung des ersten Levels können dort durch die Übernahme der Schiffsklassifizierung auch diese Flächen den Gewässern zugeordnet werden. Eine generelle Klassifizierung mit größeren Objekten wird aber wegen der Detailverluste bei kleinen Strukturen im Bild nicht durchgeführt.

Als nächstes soll nun auf die einzelnen Teile des Regelsatzes, der in Abbildung 26 dargestellt ist, näher eingegangen werden.

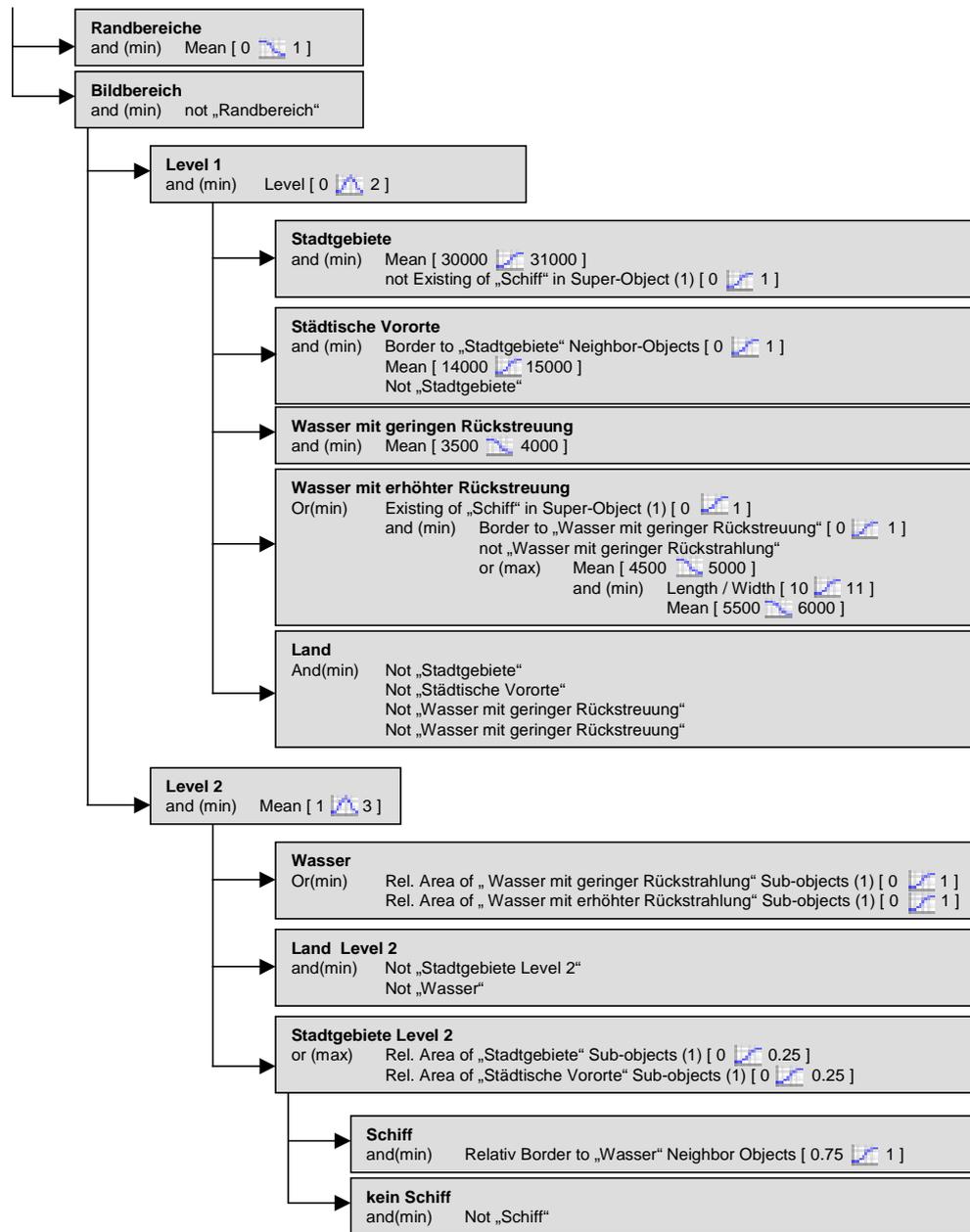


Abbildung 26: Regelsatz für den Wasserlayer

Für das erste Level wurde ein Skalierungsparameter von 100 für die Segmentierung ausgewählt. Dieser Wert steuert die Größe der erzeugten Objekte. Bei Versuchen mit anderen Werten waren die Objektgrößen entweder zu klein oder zu groß. Die Einstellung der Homogenitätskriterien, sind auf ihren Standardwerten belassen worden (Farbe 0.8, Form 0.2, Glätte 0.9 und Kompaktheit 0.1), da keine sichtbaren Verbesserungen der Objektgrenzen durch die Veränderung der Werte erfolgt. Die durch diese Einstellungen erzeugten Objektgrenzen liegen den bestmöglichen Segmentkanten am nächsten. Das zweite Level wurde mit einem Skalierungsparameter von 1500 segmentiert, um größere Objekte zu erhalten. Die Homogenitätskriterien sind die gleichen, wie im ersten Level.

Im ersten Schritt der Klassifikation wird eine Unterscheidung zwischen Bild- und Randbereichen durchgeführt. Bei Objekten im Randbereich beträgt der Mittelwert aller Grauwerte (Mean) Null, da alle in diesem Objekt zusammengefassten Pixel auch einen Grauwert von Null besitzen. Durch eine Klassifikation als „Randbereich“ wird eine andere Klassifizierung verhindert.

Das zweite wesentliche Merkmal des Regelsatzes ist die Aufteilung der weiteren Unterklassen nach den Leveln in denen sie genutzt werden. Dadurch kann für jedes Level eine spezielle Klassendefinition eingestellt werden.

Im ersten Level erfolgt nun die Differenzierung in die Klassen „Wasser mit geringer Rückstreuung“, „Wasser mit erhöhter Rückstreuung“, „Stadtgebiet“, „Städtische Vororte“ und „Land“.

Objekte der Klasse „Wasser mit geringer Rückstrahlung“ können durch den kleinen Mean-Wert extrahiert werden. Ist dieser kleiner als 3 500 gehört sie sehr sicher dazu. Viele Wasserflächen sind wegen Wellengang, Wasserpflanzen oder Ufernähe durch eine etwas höhere Rückstreuung zum Radarsensor gekennzeichnet. Sie treten aber immer in der Nachbarschaft zu der ersten Wasserklasse auf und können der Klasse „Wasser mit erhöhter Rückstreuung“ über die Nachbarschaftsbeziehung und eine erhöhte Mean-Wert-Grenze von 4 000 zugeordnet werden. Wird ein Fluss durch die am Ufer stehenden Bäume teilweise verdeckt, so entstehen nach der Segmentierung längliche Objekte, die gegenüber den bisher schon klassifizierten Wasserflächen noch heller erscheinen. Diese Flüsse können durch eine abermals verschobene Mean-Wert-Grenze auf 5 500 und eine zusätzliche Bedingung ebenfalls klassifiziert werden. Diese Bedingung soll die Einschränkung auf längliche Objekte sein und wird über das Verhältnis der Länge zur Breite definiert.

Eine genauere Bezeichnung der Wasserklassen erscheint nicht sinnvoll, da die Grenze zwischen diesen beiden Klassen willkürlich gezogen wurde. Die Abgrenzung zu den anderen Klassen beruht auf verschiedenen Versuchen, bei denen durch iterative Veränderung der Regelbasis die jeweiligen Fehlklassifikationen minimiert wurden.

Die Klassen „Stadtgebiet“ und „Städtische Vororte“ können durch die dort starken Rückstreuungen extrahiert werden. Genauer soll darauf erst in Kapitel 6.4 eingegangen werden. An dieser Stelle ist nur wichtig, dass die Schiffe, welche ebenfalls starke Rückstreuung erzeugen, fälschlicherweise in diese Klassen fallen.

Alle bisher nicht klassifizierten Objekte im ersten Level werden in der Klasse „Land“ zusammengefasst.

Die bei der Klassifizierung der größeren Objekte im zweiten Level werden in der Klasse „Wasser“ die beiden Wasserklassen des ersten Levels zusammengefasst. Das gleiche geschieht mit den „Stadtgebieten“ und den „Städtischen Vororten“, welche in der Klasse „Stadtgebiete Level2“ fusionieren. Für beide Prozesse wird das Merkmal der relative

Flächenanteile ihrer Unterobjekte im ersten Level als Entscheidungskriterium herangezogen. Gehören 100 % der Unterobjekte zu einer der Wasserklassen, dann ist die Zugehörigkeit des entsprechenden Objektes im zweiten Level sehr sicher. Bei der Zusammenfassung der urbanen Flächen reichen dagegen schon 25 % aus, da diese nur schwer im ersten Level erkannt werden können. Alle nicht klassifizierten Objekte werden in der Klasse „Land Level 2“ gesammelt.

In einem weiteren Unterschnitt sollen nun die in der Klasse „Stadtgebieten Level 2“ enthaltenen Schiffe in einer extra Klasse ausgewiesen werden. Durch den größeren Skalierungsparameter im zweiten Level sind die, vorher in viele getrennten Teilobjekte zergliederten Schiffe, zu einem größeren Objekt verschmolzen und können durch ihre lange Grenze mit den Wasserflächen von den anderen Stadtgebieten unterschieden werden. Ist der Anteil der Grenze zu der Klasse „Wasser“ bei einem Objekt größer als 75 %, dann wird die Zugehörigkeit zur Klasse „Schiff“ immer sicherer, je größer dieser Anteil ist.

Bei einer erneuten Klassifizierung des ersten Levels kann nun bei der Klassenbeschreibung der „Stadtgebiete“ eine Abfrage der Oberobjekte im zweiten Level erfolgen. Ist ein solches Oberobjekt Teil der Klasse „Schiff“ so wird es jetzt nicht mehr den urbanen Flächen sondern der Klasse „Wasser mit erhöhter Rückstreuung“ zugewiesen.

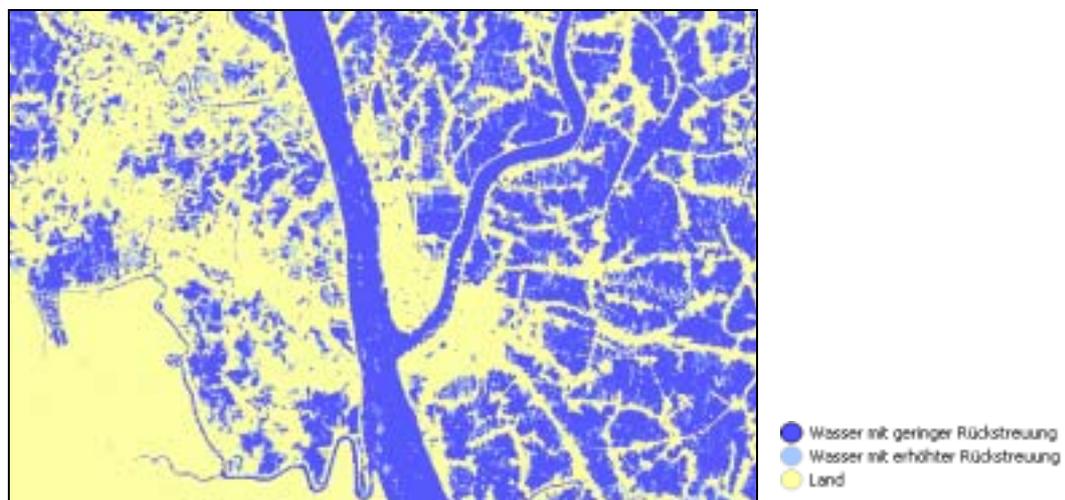


Abbildung 27: Wasserbedeckung im Testgebiet am 18.8.2001

Der so gefertigte Wasserlayer des Testgebietes ist in der Abbildung 27 dargestellt und entstand auf Grundlage des Radarbildes vom 18.8.2001.

6.3.2. Erstellen der Layer für die permanenten Wasserflächen

Man kann für jedes der drei vorhandenen Radarbilder einen solchen Layer der Überflutung erzeugen. Kombiniert man die einzelnen Layer so können die Wasserflächen herauszufiltern werden, die in diesem Zeitraum dauerhaft geflutet, also von permanenter Natur sind.

Normalerweise würde solch ein Layer der permanenten Wasserflächen alle ständig wasserführenden Flüsse und Seen beinhalten. Für die Erstellung eines solchen Layers wäre es von großem Vorteil, über eine Aufnahme während der Trockenzeit zwischen Dezember und Januar zu verfügen, denn dann wären wirklich nur permanente Wasserflächen zu sehen. Da dies aber nicht der Fall war, musste aus den vorhandenen Daten ein solcher Layer erzeugt werden. Hierzu wurden Wasserflächen, die in allen Wasserlayern vorkommen, als permanent bezeichnet. Dieses Herangehensweise birgt den Nachteil, dass auch Reisanbauflächen, die während aller verfügbaren Aufnahmen mit Wasser bedeckt waren, in dem Layer erscheinen, obwohl sie sicher zu anderen Jahreszeiten trocken liegen.

In Abbildung 28 kann man sehr deutlich sehen, dass im Osten noch in vielen Feldern Wasser steht, wohingegen im westlichen Teil fast nur noch Flüsse und Seen zu finden sind.

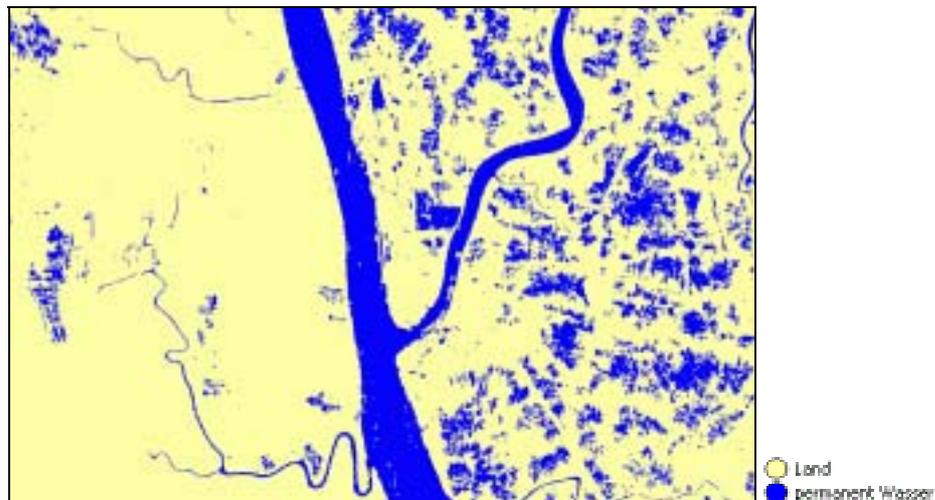


Abbildung 28: Permanente Wasserflächen im Testgebiet (August – Oktober 2001)

Für die technische Umsetzung erfolgte ein Export der einzelnen Überflutungsbedeckungen als Klassifizierung (Menü: Export/Classification). In dem aktuellen Projekt wurde neben den drei Radarszenen als Bildlayer auch die exportierten Klassifizierungen als thematische Layer eingeladen und bei der Segmentierung genutzt. Die so entstandenen Objekte werden dann als permanente Wasserflächen klassifiziert, wenn in allen thematischen Layern die Objektfläche als Wasserfläche ausgewiesen ist.

6.4. Klassifizierung von Siedlungsgebieten

Ein thematischer Layer, der Siedlung beinhaltet, kann bei späteren Analysen für die verschiedensten Zwecke eingesetzt werden. Entsprechend der Anforderung dieser Analysen braucht man entweder detaillierte Angaben oder nur eine grobe Siedlungsgrenze. Es sind daher mehrere Versionen des Siedlungslayers denkbar. Für Analysen in größeren Maßstäben wäre sicherlich die Auswertung thematisch feiner aufgelösten Daten notwendig. Für kleinmaßstäbige Analysen sind aber die so generalisierten Siedlungsflächen durchaus von Vorteil, da sonst die feine Strukturierung nicht darstellbar ist.

In jedem Radarbild werden die Siedlungen separat klassifiziert. Dies geschieht hauptsächlich auf Basis der am stärksten rückstreuenden Objekte. Man kann in Radarbildern Siedlungen an Hand dieses Merkmals sehr gut von anderen Landschaftsstrukturen unterscheiden. Der Effekt der Doppelreflektion an zwei oder auch der Dreifachreflektion an drei senkrecht zueinander stehenden Flächen führt zu einer besonders guten Rückstreuung in Richtung des Sensors. In Siedlungen tritt diese Erscheinung auf Grund der Hauswände und Straßenflächen häufiger auf als in der Natur. In natürlicher Umgebung, zum Beispiel im Wald, kann es nur unter optimalen Bedingungen zu einem solchen starkrückstrahlenden Effekt kommen. In felsigem Gelände wird es dadurch aber zu eventuellen Fehlklassifikationen führen.

Für die Siedlungsklassifikation wurden, wie schon bei der Erzeugung der Wasserlayer, zwei Level segmentiert, die auf den gleichen Homogenitätsparametern (Farbe 0.8, Form 0.2, Glätte 0.9 und Kompaktheit 0.1) aufbauen und sich voneinander durch ihre Einstellung bei dem Skalierungsparameter unterscheiden (1.Level 100, 2.Level 1 500). Durch diese Einstellungen wurde das Testgebiet im ersten Level in 39 485 Objekte mit einer durchschnittlichen Größe von 38 Pixeln (zirka 475 m²) unterteilt. Im zweiten Level dagegen werden nur noch 319 Objekte getrennt, was einer durchschnittlichen Größe von 4 831 Pixeln entspricht (zirka 60 400 m²). Dabei weichen die Objektgrößen im Siedlungsbereich erheblich von diesem Durchschnitt ab und fallen wesentlich kleiner aus.

Im ersten Level werden zuerst alle Objekte mit extrem großen Mean-Wert der Klasse „Stadtgebiet“ zugeordnet (Abbildung 29). Da die Anzahl der so gefundenen Objekte äußerst gering ist, wird eine Klasse „Städtische Vorort“ eingeführt. Darin werden Objekte zusammengefasst, die direkt neben Objekten der Klasse „Stadtgebiete“ liegen und fast genauso große Mean-Werte besitzen. Die Wasserlassen sollen auch hier für eine spätere Trennung der Schiffe von den Siedlungsflächen wie schon bei der oben beschriebenen Erstellung der Wasserlayer klassifiziert werden. Alle weiteren Objekte, die in keine dieser Klassen passen, werden der Klasse „Land“ hinzugefügt.

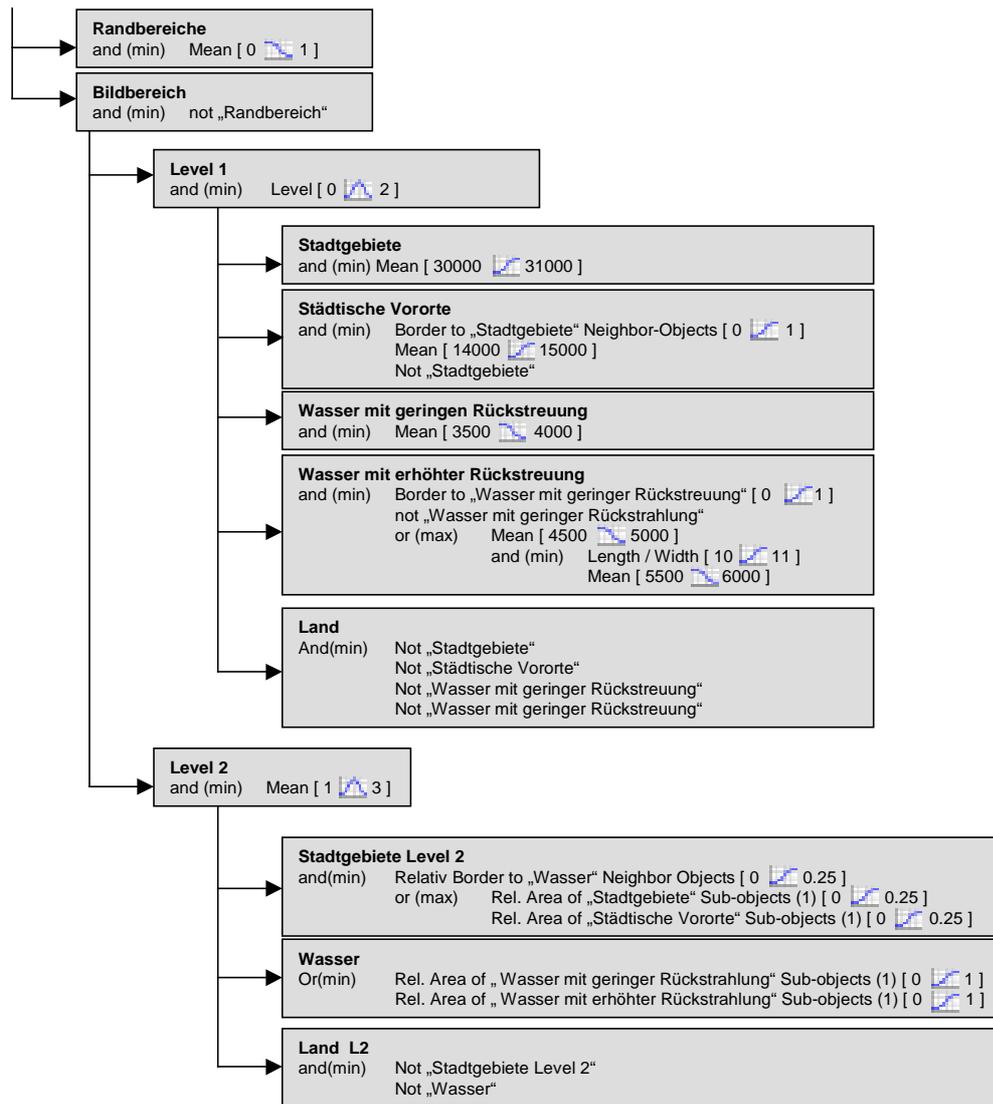


Abbildung 29: Regelbasis für den Stadtlayer

Das so erreichte Ergebnis kann noch nicht ganz befriedigen. Die Größe der Objekte im ersten Level ist sehr klein und es gibt sehr viele Klassifizierungen einzelner Objekte der Klasse „Stadtgebiet“ in unbebauten Gegenden.

Aus diesem Grund wird bei einer Klassifizierung im zweiten Level versucht, den Mangel zu beheben. Bei der Segmentierung wurden größere Objekte erzeugt, die jetzt durch ihrer Nachbarschaftsbeziehungen und Unterobjekte aus dem ersten Level klassifiziert werden können. Hat ein Objekt keine lange Grenze zu „Wasser“, ist damit also kein Schiff, und gehören mehr als 25 % der Unterobjekte des Objektes zu den Klassen „Stadtgebiete“ oder „Städtische Vororte“ dann wird es der Klasse „Stadtgebiete L2“ zugewiesen. Das hat zur Folge, dass einzelne Objekte, die mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit Fehlklassifikationen oder eine der seltenen starken Rückstreuer in der Natur sind, aussortiert werden. Ebenfalls werden so Oberobjekte die nur 25 bis 50 % an urbanen Unterobjekten besitzen komplett der

Klasse Stadt zugewiesen. Die so erreichte Vergrößerung und bessere Abbildung der Stadtbild kann auch als Generalisierung bezeichnet werden. Dabei ist aber zu beachten, dass der Übergang zwischen Stadt und Umland eher fließend ist und die Bebauung in den meisten Fällen nicht mit der administrative Stadtgrenze übereinstimmt.

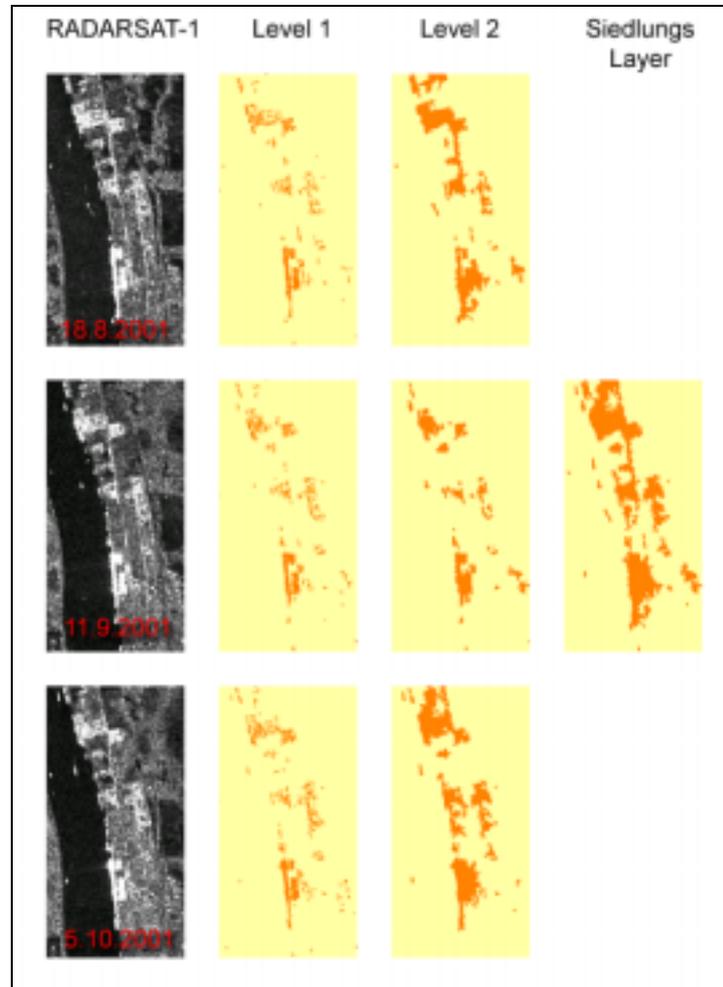


Abbildung 30: Siedlungsklassifizierung

Die Ergebnisse für die jeweiligen Radarbilder geben sehr genau die Siedlungssituation zum Zeitpunkt der Aufnahme wieder. Doch für einen allgemeingültigen Siedlungslayer ist es von Vorteil, mehrere Aufnahmezeitpunkte zu kombinieren, da auf diese Weise die gesamte Siedlung besser klassifiziert wird (Abbildung 30).

6.5. Klassifizierung von Mangrovegebieten

Im nächsten Abschnitt soll eine Klassifizierungsmöglichkeit für die Mangrovegebiete entwickelt werden. In den RADARSAT-1-Daten sind die Mangroven der Sundarbans durch

ein sehr homogenes Erscheinungsbild erkennbar (Abbildung 25). Die geringe Artenvielfalt der Vegetation zeigt sich auch hier sehr deutlich. Der gesamte Süd-Ost-Bereich des Testgebietes wird von einer einheitlichen Oberfläche überzogen, die sich aus dem Laubdach der Bäume der Sundarbans ergibt.

Bei den Siedlungen und Gewässern zeichnet sich die Intensitäten der Rückstreuung durch ein Maximum oder ein Minimum aus. Da sich dieser Wert bei den Mangroven im durchschnittlichen Mittel bewegen, ist es nicht möglich, diese über ihre spektrales Erscheinungsbild zu klassifizieren. Aus diesem Grund sollen an dieser Stelle die Daten des ASTER-Systems zum Einsatz kommen. So kann an späterer Stelle auch gezeigt werden, wie eine Datenfusion mit eCognition funktioniert. Von den drei bestellten ASTER-Datensätzen wurde für die Analyse der aktuellste vom 11.12.2001 ausgewählt.

Bei den ASTER-Daten sind vor allem die mit 15 m hochaufgelösten Kanäle 1, 2 und 3N von besonderem Interesse. Schon nach dem Laden der Bilder fallen die dunklen Bereiche der Mangrovegebiete in den ersten zwei Kanälen auf. In diesen Spektralbereichen werden von den Pflanzen der Mangroven die Sonnenstrahlen absorbiert. Diese Eigenschaft kann zur Klassendefinition genutzt werden (Abbildung 31).



Abbildung 31: Regelbasis für den Mangrovenlayer



Abbildung 32: ASTER-Daten mit Mangrovenlayer

Für die Segmentierung wurde ein Skalierungsparameter von 500 ausgewählt, da nur so die großen, zusammenhängenden Flächen der Sundarbans und nicht jedes kleine Waldstück in der Landschaft als solche segmentiert werden können. Hier zeigt eCognition, welche Stärken in dem Konzept der freiwählbaren Auflösung der Segmentierung („Multiresolution Segmentation“) liegen. Die Einstellungen der Homogenitätskriterien, wurden auf ihren Standardwerten belassen (Farbe 0.8, Form 0.2, Glätte 0.9 und Kompaktheit 0.1). Da die beste Unterscheidbarkeit nur in den ersten beiden Kanälen der ASTER-Daten gegeben ist, wurden allen anderen Bilddaten bei der Segmentierung kein Gewicht zugewiesen. Dadurch bilden die Segmente besser die Mangroven ab, als wenn weitere Bildkanäle zur Segmentierung herangezogen worden wären. Der so gewonnene Mangrovenlayer grenzt die Sundarbans gut von den anderen Gebieten ab (Abbildung 32).

6.6. Fusion der Daten von RADARSAT-1 und ASTER

Die Fusion von Bilddaten und thematischen Layern verschiedenster Herkunft ist eine der Hauptanliegen von eCognition. Es können die unterschiedlichsten Daten in ein Projekt geladen und für die Segmentierung und Klassifizierung genutzt werden. Die aus RADARSAT-1 gewonnenen Layer sollen an dieser Stelle mit dem Mangrovenlayer aus ASTER fusioniert werden. Die gewählte modulare Klassifikationsstrategie führt dazu, dass nicht die Bilddaten, sondern die einzelnen Klassifikationsergebnisse in Form von Siedlungs-, Gewässer- oder Mangrovenlayer fusioniert werden.

Die Resultate der Klassifizierungen werden in den jeweiligen Projekten über die Exportfunktion (Menü: Export / Classification) gespeichert. In einem neuen Projekt werden neben den Bilddaten die exportierten Klassifikationsergebnisse als thematische Layer hinzugefügt. Nach der Segmentierung der Bilddaten können die so gefundenen Objekte mit Hilfe der thematischen Layer klassifiziert werden.

Da die Fusion der Daten zu vielfältigsten Ergebnissen führen kann, sollen hier im folgenden zwei Beispiele dargestellt werden. Das erste Beispiel soll die einfache Fusion aller bisher erzeugten thematischen Layer zum Ziel haben. Diese kann als Grundlage bei der Erstellung einer allgemeinen Übersichtskarte dienen (Abbildung 33).

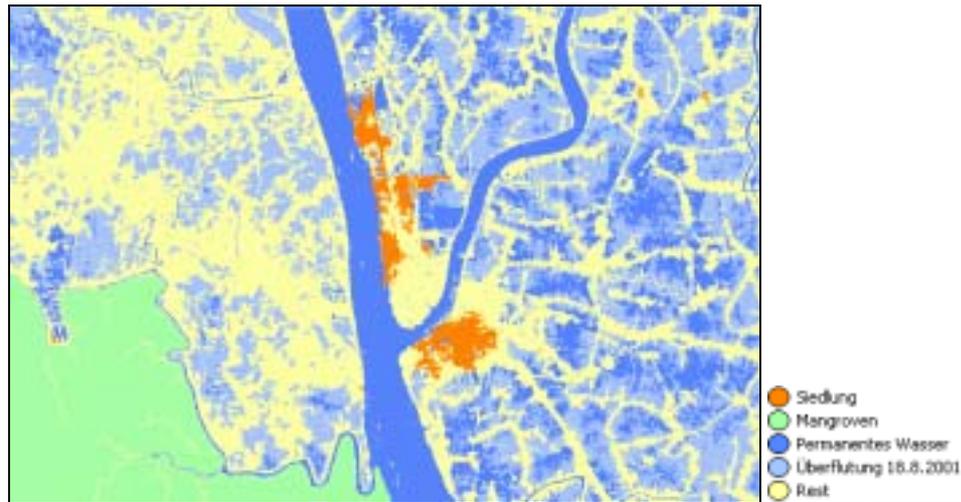


Abbildung 33: Fusion von Klassifikationsergebnissen der Daten von RADARSAT-1 und ASTER

Für den Naturschutz ist aber zum Beispiel das Gefährdungspotential der Mangroven durch den Menschen interessant. Durch die Verwendung der Siedlungs- und Waldlayer kann hier effizient die Gefährdung klassifiziert werden. Dabei werden in einem ersten Schritt solche Siedlungen gesucht, die in der Nähe der Mangrovenwälder liegen. In einem zweiten Schritt werden die Waldgebiete in verschiedene Gefährdungsstufen mit der Annahme klassifiziert, dass in der Nähe der Siedlung eher ein Waldbrand droht oder die Einwohner Holz schlagen und damit das natürliche Gleichgewicht der Sundarbans gefährden (Abbildung 34).

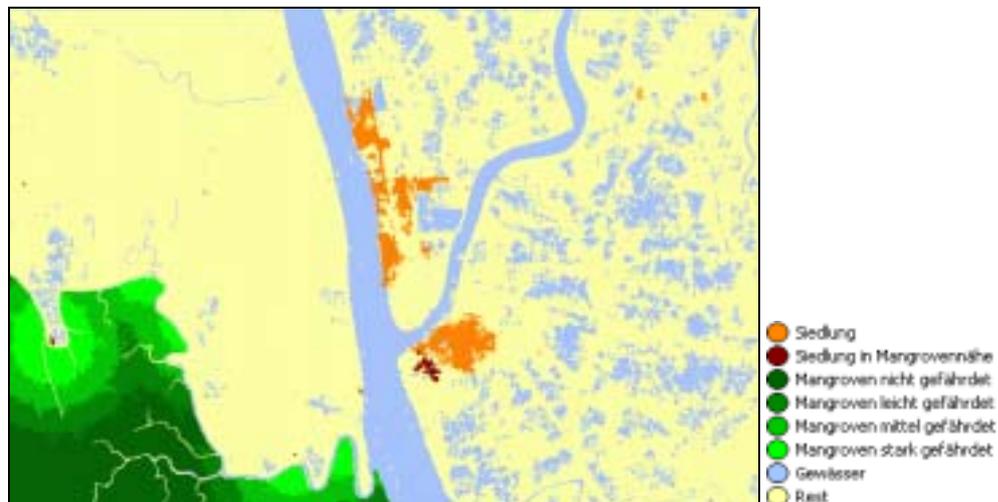


Abbildung 34: Gefährdungspotential der Mangrovenwälder

6.7. Fusion der Daten von RADARSAT-1 und LandScan 2000

Der oben aus den Radardaten erstellten Stadtlayer sollte mit Hilfe der statistischer Daten von LandScan 2000 auf seine Richtigkeit hin analysiert werden. Eine erste Kombination der Datensätze zeigte sofort offensichtliche Probleme auf. Das in Abbildung 35 dargestellte Bild zeigt die Unstimmigkeit zwischen dem Siedlungslayer und den LandScan 2000 Daten. Auf dem globalen Datensatz von LandScan 2000 liegt die Stadt Mongla deutlich erkennbar zirka 2 km weiter im Osten als auf den Radarbilder. Das gleiche gilt auch für gut sichtbare Grenze zwischen der besiedelten Gegend und den Mangrovenwäldern im Süd-Westen. Der nördliche Teil der Stadt Mongla wird in den LandScan 2000 überhaupt nicht wiedergegeben. Dies könnte mit der vorwiegend, industriellen Nutzung als Hafengelände zusammenhängen.

Generell konnte nur eine sehr geringe Übereinstimmung der Siedlungslayer aus den RADARSAT-1-Bildern und der LandScan 2000 Daten gefunden werden. Da die Daten der Bevölkerungsdichte erst sehr spät für die vorliegende Arbeit zur Verfügung standen, konnte nicht mehr geklärt werden, ob beide Datensätze oder nur einer für die schlechte Passgenauigkeit verantwortlich ist.

Die LandScan 2000 Daten hätten helfen können, die gefundenen Siedlungen zu bestätigen. Es ist auch denkbar, dass ein so verbesserter Regelsatz mit den daraus resultierenden Siedlungslayern eine qualitative Datenbasis für neue LandScan-Datensätze bilden kann.

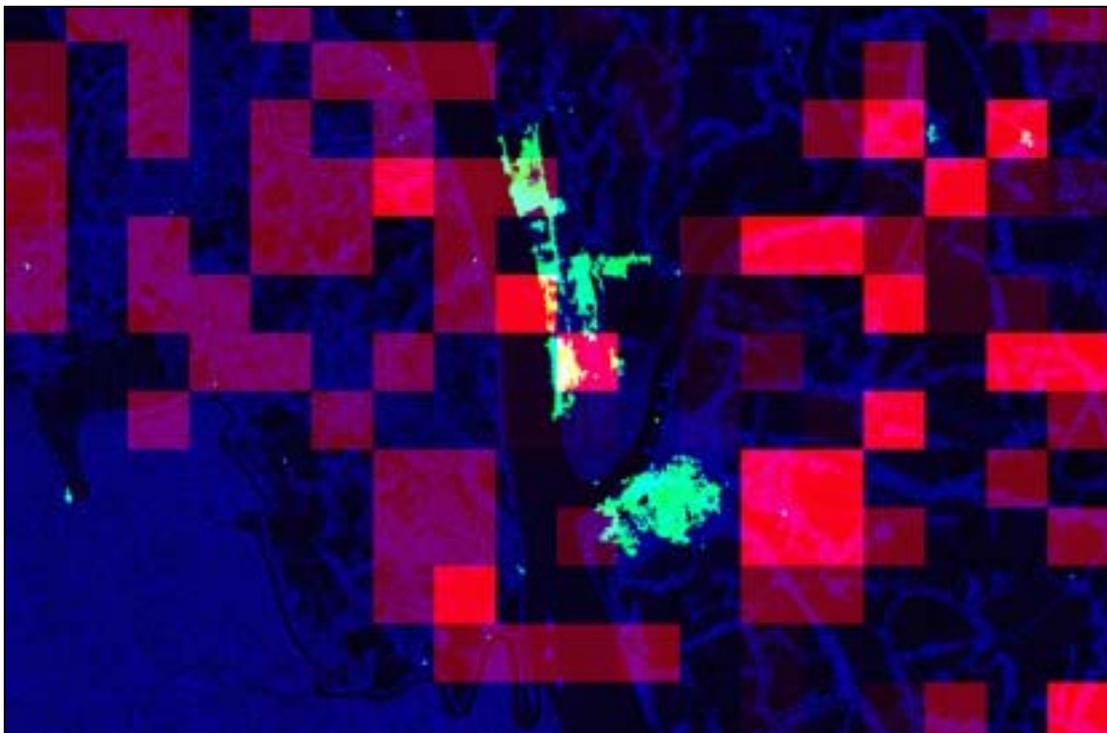


Abbildung 35: Kombinationsbild von LandScan 2000 (rot), Siedlungslayer (grün) und RADARSAT-1-Bild (blau)

7. BEURTEILUNG DER ERGEBNISSE

7.1. Genauigkeitsanalyse

Für eine Qualitätsbeurteilung der Ergebnisse ist es wichtig, Vergleichsmaterial zur Verfügung zu haben. Da eine Untersuchung vor Ort im Testgebiet nicht möglich war, mussten andere Möglichkeiten gefunden werden.

Durch die Tatsache des starken Engagement der Firma Radarsat International in Bangladesch hat das dort durchgeführte Projekt „Environment and Geographical Information System Support Project for Water Sector Planning“ (EGIS, Projekt zur Umwelt und GIS Unterstützung bei der Planung im Wassersektor) mit den gleichen RADARSAT-1-Daten gearbeitet. Das Projekt wurde ursprünglich von der niederländischen Regierung gegründet und ist maßgeblich an der Ausarbeitung des Flutaktionsplans beteiligt. Seit September 2001 wird die Arbeit als Treuhandgesellschaft unter dem Namen „Center for Environment and Geographical Information Services“ (CEGIS, Zentrum für Umwelt und GIS Dienste) [W-CEG02] weitergeführt.

Die durch pixelorientierte Klassifizierung der Daten entstandenen Resultate unterscheiden zwischen Wasser und Land (Abbildung 36). Genauere Informationen über die genutzte Software und Vorgehensweise konnten nicht ermittelt werden.

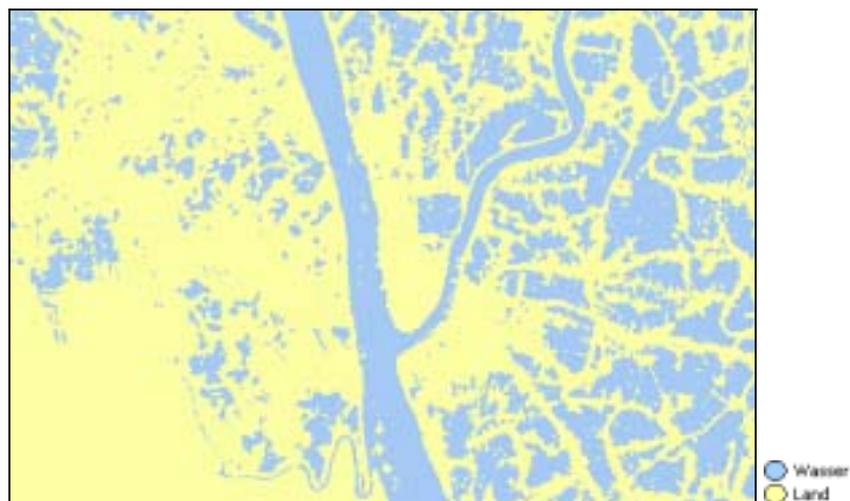


Abbildung 36: Pixelorientierte Klassifikationsergebnisse des CEGIS [W-CEG02] im Testgebiet auf den RADARSAT-1-Daten vom 18. August 2001

Ein direkter Vergleich beider Klassifizierungsergebnisse ist nicht statthaft. Auf diese Weise kann nur der Grad der Übereinstimmung beider Ergebnisse herausgefunden werden. Wie gut sie die wirkliche Situation wiedergeben, ist so nicht zu analysieren. Tritt in allen beiden Fällen die gleiche Fehlklassifikation auf, so könnte dies nicht erkannt werden.

Aus diesem Grund wurde eine manuelle Klassifizierung des gesamten Testgebietes vorgenommen (Abbildung 37). Da aber eine Klassifizierung aller Pixel von Hand zu zeitintensiv gewesen wäre, wurde eine zweistufige manuelle Klassifizierung durchgeführt. Hierfür wurde in eCognition auf der Basis einer groben Segmentierung und einiger Beispielklassifikationen mittels nächster Nachbarschaft („Nearest Neighbor“) ein Klassifikationsergebnis erzeugt. Da dieses an vielen Stellen noch nicht dem gewünschten Resultat entsprach, wurde auf einem tieferen Level mit nur wenige Pixeln großen Segmenten die Klassifikation manuell verbessert. Trotz der Zeitersparnis konnte so eine gute Referenzklassifikation erzeugt werden, mit der die beiden Klassifikationsergebnisse auf ihre Genauigkeit hin überprüft werden konnten.

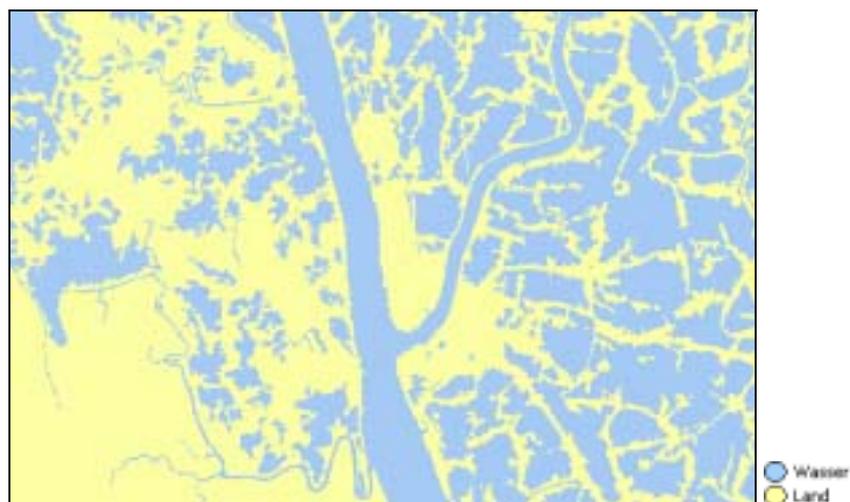


Abbildung 37: TTA-Maske des Testgebietes

Für die Genauigkeitsanalyse verfügt eCognition über die Ausgabemöglichkeit einer Konfusions-Matrix und weiterer statistischer Kenngrößen. Wie schon oben erwähnt sind die wichtigsten davon die Gesamtgenauigkeit („Overall Accuracy“) und der Kappa-Index-Wert („Kappa Index of Agreement“, KIA). In Tabelle 7 sind die von eCognition errechneten Ergebnisse der Genauigkeitsbewertung aufgelistet.

Tabelle 7: Genauigkeitsbewertung der pixel- und objektorientierten Klassifikation im Testgebiet

Konfusions-Matrix (Angaben in Pixel)									
		Referenzklassen					Referenzklasse		
		Wasser	Land	Summe			Wasser	Land	Summe
Pixel	Wasser	528 087	12 345	540 432	Objekt	Wasser	675 222	62 835	738 057
	Land	218 424	743 645	962 069		Land	71 289	693 155	764 444
Summe		746 511	755 990		Summe		746 511	755 990	
Genauigkeit									
Referenz	70,7 %	98,4 %			90,5 %	91,7 %			
Nutzer	97,7 %	77,3 %			91,5 %	90,7 %			
Gesamtgenauigkeit		84,6 %					91,1 %		
KIA		69,2 %					82,1 %		

Schon in der Konfusionsmatrix wird sichtbar, dass die pixelorientierte Klassifikation wesentlich mehr Wasserflächen aus der Referenzklasse dem Land zugeordnet hat. Die mehr als 200 000 fehlklassifizierten Pixeln liegen deutlich über den zirka 70 000 bei der objektorientierten Klassifikation. Dies schlägt sich auch auf den daraus berechneten Genauigkeitswert nieder. Der große Unterschied der korrekt klassifizierten Referenzwasserflächen zeigt sich deutlich in den Werten 70,7 % und 90,5 %. Die daraus resultierende Gesamtgenauigkeit, die angibt wie gut eine Klassifikation alle Referenzklassen widerspiegelt, erreichte bei der pixelorientierten Klassifizierung 84,6 %. Dagegen stellen die 91,1 % der objektorientierten Klassifikation einen deutlichen Qualitätssprung dar. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die objektorientierte Klassifizierung eine höhere Genauigkeit erreicht. Sie findet besonderes bei den sehr feinen Strukturen, wie zum Beispiel die schmalen Flussläufe, wesentlich mehr als es die Klassifikation über den Pixelansatz schafft.

7.2. Übertragbarkeit der Strategie

Die Übertragbarkeit der Strategie soll im folgenden an zwei Beispielen gezeigt werden. Zum einen wurde der Regelsatz zur Erstellung der Wasserlayer auf das Gebiet angewendet, welches westlich an das Testgebiet angrenzt. Hier erfolgte wie schon im ersten Testgebiet eine Genauigkeitsbewertung. Zum zweiten wurde getestet, ob der Regelsatz auch auf eine größeres Gebiet anwendbar ist.



Abbildung 38: Klassifikation der Gebiet die westlich an das Testgebiet anschließen

Der in Abbildung 38 gezeigte Ausschnitt schließt direkt an die Westgrenze des Testgebietes an und hat die selbe Flächengröße. Durch eine Klassifikation mit den Regelsatz für den Wasserlayer soll gezeigt werden, dass dieser übertragbar ist und die Qualität des Ergebnis konstant bleibt. Dafür wird erneut eine manuelle Referenzklassifikation durchgeführt und mit den Ergebnissen der pixelorientierten Verfahren verglichen.

Tabelle 8: Genauigkeitsbewertung der pixel- und objektorientierten Klassifikation im westlichen Testgebiet

Konfusions-Matrix (Angaben in Pixel)									
		Referenzklassen					Referenzklasse		
		Wasser	Land	Summe			Wasser	Land	Summe
Pixel	Wasser	606 373	20 835	627 208	Objekt	Wasser	746 305	70 551	816 856
	Land	198 248	677 037	875 285		Land	58 316	627 321	685 637
Summe		804 621	697 72		Summe		804 621	697 872	
Genauigkeit									
Referenz		75,4 %	97,0 %			92,8 %	89,9 %		
Nutzer		96,7 %	77,4 %			91,4 %	91,5 %		
Gesamtgenauigkeit			85,4 %				91,4 %		
KIA			71,2 %				82,7 %		

Die erneut erzeugte Konfusions-Matrix und der daraus berechneten Gesamtgenauigkeit und KIA zeigen die gleichen Tendenzen wie schon im eigentlichen Testgebiet (Tabelle 8). Die objektorientierte Klassifizierung erreicht auch in diesem neuen Testgebiet die hohe Klassifizierungsgüte.

Es kann also gesagt werden, dass der Regelsatz zur Erstellung der Wasserlayer stabil arbeitet und die Qualität der Resultate reproduzierbar ist.

Bisher wurde nur mit dem Testgebiet (234 km²) gearbeitet. Die Segmentierung und Klassifizierung erfolgte innerhalb von zirka zehn Minuten an einem durchschnittlichen Computer (450 MHz, 128 MB RAM). In einem weiteren Schritt wurde der Regelsatz auf die kompletten Datensätze angewandt. Dies geschah an einem Computer mit einem 2 Gigabyte großen Arbeitsspeicher, da das Segmentieren der ganzen Szenen sehr viel Speicherplatz benötigt. Die Segmentierung und Klassifizierung des Wasserlayers für eine gesamtes RADARSAT-1-Bild dauert auf diesem Rechner zirka eine Stunde. Als Beispiel für die Auswertung soll an dieser Stelle der erzeugte Layer der permanenten Wasserflächen gezeigt werden (Abbildung 39).



Abbildung 39: Permanente Wasserflächen auf der gesamten RADARSAT-1-Szene (August-Oktober 2001)

7.3. Vor- und Nachteile bei der Nutzung von Zusatzinformationen

Im folgenden Abschnitt sollen die Vor- und Nachteile diskutiert werden, die bei der Nutzung von Zusatzinformationen neben den Datengrundlagen auftreten.

In dieser Arbeit wurden als weitere Fernerkundungsdatensätze von ASTER genutzt. Die dabei verwendeten Spektralkanäle decken Wellenbereiche ab, die eine wertvolle Ergänzung zu den Radardaten darstellen. Eine wesentlich einfachere Klassifizierungsmethode der Mangroven in diesen Datensätzen lassen den Aufbau eines komplexen Regelsatzes für die Radardaten unnötig erscheinen. Zumal die ASTER-Daten bis auf weiteres kostenlos zur Verfügung stehen und auch für kommerzielle Zwecke genutzt werden dürfen. Bei den meisten Fernerkundungsdaten wirken sich oft die hohen Anschaffungskosten nachteilig aus. ASTER hat als optischen Sensor den Nachteil, dass es bei Wolkenbedeckung nicht verfügbar ist und in den Daten eine linearen Störungen auftritt. Demgegenüber stehen eine Erweiterung des Spektralbereiches, die hohe Auflösung und die kostenlose Verfügbarkeit für eine Nutzung in Radarprojekten. Die Vorprozessierung, Geokodierung und der Aufbau neuer Klassifikationsregelsätze kosten Zeit und Geld. Aber die Verbesserung der Endergebnisse lassen diese Faktoren in den Hintergrund treten. Für jedes neue Projekt sollte darum gründlich geprüft werden, ob die positiven Einflüsse durch die Nutzung weiterer Fernerkundungsdaten überwiegen.

Die zusätzliche Nutzung von statistischer oder thematischer Daten ist zum größten Teil durch die schlechte Verfügbarkeit beschränkt. Globale Datensätze, wie zum Beispiel LandScan 2000, sind selten. Die meisten Datensätze sind lokal begrenzt und dadurch nicht in jedem Projekt nutzbar. Wichtig ist auch die Frage nach der Qualität und Auflösung der Daten sowie deren ursprüngliche Quelle.

Die Ableitung neuer Erkenntnisse durch die Kombination der Klassifikationsergebnisse aus den Fernerkundungsdaten mit den statistischen Daten können als großer Vorteil gewertet werden. Beispielsweise kann durch die Verschmelzung der statistischen Bevölkerungsdichtedaten und des aktuellen Standes der Überflutung eine Entscheidungshilfe gewonnen werden, die den besseren Einsatz von Katastrophenschutzkräften ermöglicht. Informationen, die nicht mit Hilfe von Satelliten erkannt werden können, wie zum Beispiel die Nutzungsart eines Gebäudes, können so in ein Projekt einfließen.

Generell kann gesagt werden, dass die statistischen oder thematischen Daten bei ihrer Verfügbarkeit genutzt werden sollten, da je nach Auflösung und Qualität meist die positiven Effekte überwiegen.

Das gleiche gilt auch für Kartenmaterial als Informationsquelle. Ihre Daten können zwar nicht direkt in das Projekt einfließen, aber zum Beispiel für eine Qualitätskontrolle der Klassifikation oder bei der Geokodierung hilfreich sein. Digitalisiert man eine Karte, so entsteht daraus ein thematischer Layer und es gelten dann deren Vor- und Nachteile wie sie oben aufgelistet sind.

Für alle Zusatzinformationen ist eine Prüfung der entstehenden Kosten, der möglichen Verfügbarkeit, der Qualitätsfrage und der zusätzlichen Zeitaufwendungen notwendig. Letztes muss aber gleichzeitig dem Zeitgewinn gegenübergestellt werden.

Aus Kostengründen wurde zum Beispiel in der vorliegenden Arbeit keine Aufnahme der Satelliten Landsat oder Ikonos genutzt, sondern auf die kostenlosen Bilder von ASTER zurückgegriffen. Aktuelles topographisches Kartenmaterial war auf Grund der Verfügbarkeit nicht nutzbar. Die LandScan 2000 Daten wurden den UNEP/GRID-Daten vorgezogen, da sie eine qualitativ bessere Auflösung besitzen.

Abschließend soll zu dem Thema bemerkt werden, dass die Beschaffung der Daten sehr zeitintensiv und nicht immer erfolgreich war. Aber zum Beispiel im Fall der ASTER-Daten konnte die Klassifikation durch ihren Einsatz wesentlich vereinfacht werden.

8. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

8.1. Zusammenfassung

Im Folgenden werden die, in dieser Arbeit, vorgestellten Ergebnisse unter Bezug auf die gestellten Ziele zusammengefasst.

Für das asiatische Land Bangladesch mit einer der höchsten Bevölkerungsdichte der Erde sind die Naturkatastrophen in Form von Überschwemmungen schon immer eine Gefahr. Die drei großen Flüsse Ganges, Brahmaputra und Meghna bilden hier das größte Delta der Erde. 80 % der gesamten Landesfläche liegen in der Schwemmlandebene dieser drei Ströme und erheben sich nur wenige Meter über den Meeresspiegel. Bei einem steigenden Wasserspiegel ist die Mehrheit der Einwohner direkt von den Überflutungen betroffen.

Für Katastrophenschutz und andere Maßnahmen ist es von Bedeutung auf einer guten Informationsquelle aufbauen zu können. Aus diesem Grund ist eine Zusammenarbeit der Firma Radarsat International als Lieferant hochauflösender Radarbilder und der Definiens AG als Produzent der objektorientierten Bildanalysesoftware eCognition sinnvoll. Die vorliegende Arbeit sollte zeigen, wie eine objektorientierte Analyse von RADARSAT-1-Daten in Überflutungsgebieten am Beispiel eines Testgebietes in Bangladesch aussehen kann.

Nach einer Einführung zu den theoretischen Grundlagen der Themen Radarfernerkundung, Klassifikation und Überschwemmungen wird die Vorprozessierung und Geokodierung der RADARSAT-1-Daten erläutert.

Von besonderem Interesse bei dieser Arbeit war die Beschaffung von zusätzlichen Geodaten für das Gebiet und deren Aufbereitung für eine Nutzung in eCognition. Hierfür kamen die Daten von ASTER sowie Bevölkerungsdichtedaten des UNEP/GRID und LandScan 2000 in Betracht. Weiterhin wurde die Beschaffung und Nutzung von topographischem Kartenmaterial in Erwägung gezogen.

Eine der Hauptaufgaben der Arbeit bestand in der Aufstellung einer Strategie zur effizienten Ableitung von Informationen aus den Radardaten. Der dazu entwickelte modulare Klassifikationsansatz wird ausführlich beschrieben und auf ein ausgewähltes Testgebiet in Bangladesch angewandt. Es wird gezeigt, wie die effiziente Ableitung von Überflutungsflächen und Stadtgebieten aus den Radardaten aussehen kann. Weiterhin wird durch Nutzung der ASTER-Daten im Testgebiet der Mangrovenwald klassifiziert. Die anschließende Fusion der beiden Klassifikationsergebnisse zeigt mögliche Nutzungsbeispiele auf. Ebenso wird eine Fusion der Radardaten mit LandScan 2000 untersucht.

Die Klassifikationsergebnisse werden über eine Genauigkeitsanalyse auf ihre Qualität hin eingeschätzt und mit den pixelorientierten Resultaten verglichen. Mit einer Gesamtgenauigkeit von 91 % in Bezug auf eine manuellen Klassifizierung des Testgebietes konnte eine wesentliche Verbesserung gegenüber der pixelorientierten Klassifikation erzielt werden. Eine anschließende Prüfung zur Übertragbarkeit der Strategie in einem anderen Gebiet brachte gleich hohe Genauigkeiten.

Abschließend kann festgestellt werden, dass die objektorientierte Analyse von RADARSAT-1-Daten in Überflutungsgebieten eine höhere Klassifikationsgüte hervorbringt als die bisher genutzten Verfahren. Die aufgezeigte Strategie ist sehr effizient und auf andere Gebiete übertragbar. Die Beschaffung und Nutzung von Zusatzinformationen für so ein Projekt ist nicht immer erfolgreich, kann aber wie im Fall der ASTER-Daten zu einer Verbesserung der Klassifikation führen.

8.2. Ausblick

Für die Zukunft wäre es wünschenswert, dass die Regelsätze in anderen Gebieten der Erde getestet werden, um so die Robustheit und Effizienz zu bestätigen und eventuelle Modifizierungen zur Verbesserung der Strategie vorzunehmen..

Weiterhin ist eine Fortsetzung der Arbeiten an der Fusion der Klassifikationsergebnisse mit den Daten von LandScan 2000 wichtig, da diese zu spät der vorliegenden Arbeit zur Verfügung standen. Die aufgetretenen Probleme können sicherlich bei einer genaueren Analyse behoben werden. Es ist zu erwarten, dass dabei sehr interessante Fusionsergebnisse entstehen. Auch die Vor- und Nachteile der Einbindung anderer Sensoren (Landsat, Ikonos usw.) sollte untersucht werden.

Die aufgezeigte Klassifikationsstrategie kann in einer automatischen Prozessierung eingebunden und deren Resultate neuen Projekten zur Verfügung gestellt werden. Dies wäre eine Möglichkeit für eine weitere Zusammenarbeit der Firma Radarsat International und der Definiens AG.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Karte von Bangladesch mit Untersuchungsgebiet [W-DCW02]	10
Abbildung 2: RADARSAT-1 Falsch-Farben-Komposit.....	12
Abbildung 3: Prinzip des Synthetischen Apparatur Radars (SAR) [W-HER02].....	15
Abbildung 4: RADARSAT-1 Satellit [W-SRE02]	16
Abbildung 5: RADARSAT-1 Betrachtungsmodi [RSI00]	18
Abbildung 6: Ikonos-Szene Dresden und Klassifikation [MRN00]	22
Abbildung 7: Bangladesch - Überschwemmungen, [DWA91].....	24
Abbildung 8: Anwendungsoberfläche der Software eCognition	26
Abbildung 9: Fenster der Multiresolution Segmentation in eCognition.....	28
Abbildung 10: Hierarchisches Netzwerk von Bildobjekten in eCognition [DEF01].....	29
Abbildung 11: Beispiel einer Klassenhierarchie.....	30
Abbildung 12: Beispiel einer Klassenbeschreibung mit einer Fuzzy-Regelbasis.....	31
Abbildung 13: Beispiel einer Zugehörigkeitsfunktion (Länge / Breite)	32
Abbildung 14: Objekteigenschaften und klassenbezogene Eigenschaften	33
Abbildung 15: Lee-Sigma-Filterung von Radarbildern	36
Abbildung 16: Metadaten der RADARSAT-1-Szene in der CDL-Datei.....	38
Abbildung 17: Terra Satellit [W-VIE02]	39
Abbildung 18: Ausschnitt eines Falsch-Farben-Komposit des Satelliten ASTER	42
Abbildung 19: Ausschnittsvergrößerung der Abbildung 18 mit linearen Störungen.....	43
Abbildung 20: UNEP/GRID Bevölkerungsdichte von Süd-Zentral-Asien [W-UNE02].....	45
Abbildung 21: LandScan 2000 Daten [W-LAS02].....	46
Abbildung 22: Ausschnitt des Kartenblattes "Khulna"	48
Abbildung 23: Flussdiagramm der Klassifizierungsstrategie	52
Abbildung 24: Geographische Lage der Satellitenbilder und des Testgebietes.....	54
Abbildung 25: RADARSAT-1 Falsch-Farben-Komposit des Testgebietes	55
Abbildung 26: Regelsatz für den Wasserlayer.....	58
Abbildung 27: Wasserbedeckung im Testgebiet am 18.8.2001	60
Abbildung 28: Permanente Wasserflächen im Testgebiet (August – Oktober 2001).....	61
Abbildung 29: Regelbasis für den Stadtlayer	63
Abbildung 30: Siedlungsklassifizierung	64
Abbildung 31: Regelbasis für den Mangrovenlayer	65
Abbildung 32: ASTER-Daten mit Mangrovenlayer	65
Abbildung 33: Fusion von von RADARSAT-1 und ASTER	67

Abbildung 34: Gefährdungspotential der Mangrovenwälder	67
Abbildung 35: Kombinationsbild von LandScan, Siedlungslayer und RADARSAT-1	68
Abbildung 36: Pixelorientierte Klassifikationsergebnisse des CEGIS [W-CEG02]	69
Abbildung 37: TTA-Maske des Testgebietes	70
Abbildung 38: Klassifikation der Gebiet die westlich an das Testgebiet anschließen.....	72
Abbildung 39: Permanente Wasserflächen auf der gesamten RADARSAT-1-Szene	73

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Todesopfer in Bangladesch durch Überschwemmungen [CLA83][MRV00].....	11
Tabelle 2: Bandbereich der Mikrowellen [HIL96]	14
Tabelle 3: RADARSAT-1 Betrachtungsmodi [RSI00].....	17
Tabelle 4: Auftreten und Dauer der Fluttypen in Bangladesch [ISK93].....	23
Tabelle 5: Kanäle der ASTER-Daten.....	40
Tabelle 6: Beschreibung der Level von ASTER-Produkten [W-ERS02]	41
Tabelle 7: Genauigkeitsbewertung der pixel- und objektorientierten Klassifikation.....	71
Tabelle 8: Genauigkeitsbewertung der pixel- und objektorientierten Klassifikation.....	72

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ACRS	Asian Conference on Remote Sensing
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CEGIS	Center for Environment and Geographical Information Services
CSA	Canadian Space Agency
DTEM	Digital Terrain Elevation Data
EGIS	Environment and Geographical Information System Support Project for Water Sector Planning
FAP	Flutaktionsplan
GLCC	Global Land Cover Characteristics
GRID	Global Resource Information Database
HDF	Hierarchical Data Format
KIA	Kappa Index of Accuracy
MB	Megabyte
MET	Metadata
NASA	National Aeronautics & Space Administration
NIMA	National Imagery and Mapping Agency
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
RADAR	Radio Detection And Ranging
RAR	Real Aperature Radar
RSI	Radarsat International
SAR	Synthetic Aperature Radar
SWIR	Short Wave Infrared
TIR	Thermal Infrared
TTA	Test and Training Areas
UNEP	United Nations Environment Programme
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
VMAP	Vektor-Map
VNIR	Visible and Near Infrared
WGS	World Geodetic System

LITERATURVERZEICHNIS

Bei einer Quellenangaben mit einem „W-“ vor dem Kürzel handelt sich um einen Verweise ins World Wide Web. Diese sind unter der Überschrift „Quellen im Internet“ aufgelistet.

- ALB01 Albertz, J.: Einführung in die Fernerkundung. 2. überarbeitete und ergänzte Auflage, Darmstadt 2001.
- B&S00 Baatz, M. & Schäpe, A.: Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000, Karlsruhe 2000.
- BEN99 Benz, U.: Ein lernfähiger Fuzzy-Verteilschätzer zur adaptiven Analyse von Radardaten, Forschungsbericht 99-03, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., 1999.
- BLS01 Blaschke, T. und Stroble, J.: What´s wrong with pixel? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS, in: GIS Nr. 6, Seite 12 ff., 2001.
- BUC89 Buchroithner, M.: Fernerkundungskartographie mit Satellitenaufnahmen, Wien 1989.
- CLA83 Claßen, K.: Bangladesch – Zum Ertrinken verurteilt?. In: Praxis Geographie Nr. 7-8, Seite 39 ff., 1983.
- DEF01 Definiens Imagine GmbH (Hrsg.): User Guid eCognition, München 2001
- DLL99 Diercke Länderlexikon, 1.Auflage, Seite 103-107, Westermann, 1999.
- DWA91 Westermann (Hrsg.): Diercke Weltatlas, 1991.
- EOM01 ERDAS Inc. (Hrsg.): ERDAS Imagine On-Line Manuals, Version 8.5, 2001.
- GEO02 GEOINFORMAICS, Magazine for Geo-IT Professionals, Ausgabe 5, April/Mai 2002.
- H&L98 Henderson, F.M und Lewis, A.J.: Principles & Application of Imaging Radar, Manual of Remote Sensing, 3. Auflage, Band 2, New York 2000.
- HIL96 Hildebrandt, G.: Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. 1.Auflage, Heidelberg 1996.
- HOJ00 Hoja, D.: InSAR-Höhenmodell und Wasserstandslinienverfahren im Vergleich, Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Institut für Kartographie, Dresden 2000.
- HOR97 Horn, F.: Bangladesch – erstes Opfer des Treibhauseffektes?. In: Praxis Geographie Nr.9, Seite 25 ff., 1997.

- ISK93 Islam A. & Kamal G.M.: Der Flutaktionsplan für Bangladesch und seine ökologischen Risiken, In: Geographische Rundschau, Heft 11, Seite 666ff, 1993.
- KEM01 Kempe, K.: Naturkatastrophen und Weltraum-Technologien, Globale Analyse von Forschungs- und Ausbildungseinrichtungen, Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, 2001
- KRÄ98 Krätzschar, E.: Vorstellung unterschiedlicher Klassifikationsverfahren in der Radar-Fernerkundung, Studienarbeit, Technische Universität Dresden, 1998.
- L&K00 Lillesand, T.M. und Kiefer, R.W.: Remote Sensing and Image Interpretation. 4. Auflage, New York 2000.
- MCT02 Heise Verlag (Hrsg.): Magazin für Computertechnik (c't), Ausgabe 9/2002.
- MRN00 Meinel,G., Reder,J. Neubert,M. : IKONOS – Satellitendaten und ihre Klassifikation – erster Erfahrungsbericht, Vortrag auf der GUGM 2000 in Germering 13.-15.11.2000, Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Dresden, 2000.
- MRV00 Münchner Rückversicherungs-Gesellschaft (Hrsg.): Welt der Naturgefahren, interaktive CD-ROM, 2000.
- MÜL01 Müller, A.: Landnutzungsklassifikation hochaufgelöster multiparametrischer Radar- und Hyperspektraldaten mit dem objektorientierten Bildanalyse-System eCognition, Diplomarbeit, Universität Jena, 2001.
- OGR83 Ogrissek, R.: ABC Kartenkunde, 1.Auflage, Leipzig 1983.
- RSI00 Radarsat International (Hrsg.): Information Solutions RADARSAT-1, Informationsblatt, Canada 2000.

QUELLEN IM INTERNET

Bei einer Quellenangaben ohne einem „W-“ vor dem Kürzel handelt sich um einen Literaturverweise. Diese sind unter der Überschrift „Literaturverzeichnis“ aufgelistet.

- W-ACR97 Aufsatz von Y.Kotera, M.Ochi und M.Hato bei der ACRS 1997:
 Generation of Seismic Base Map Using Satellite Images in the Southern
 Deltaic Area, People's Republic of Bangladesh
<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1997/ts6/ts6004pf.htm>
 Stand 27.5.2002 11:32 Uhr
- W-BAN02 Homepage der Regierung von Bangladesch
<http://www.bangladeshgov.org>
 Stand 22.5.2002, 16:40 Uhr
- W-BAY02 Projektes TK 50 online des Bayrischen Vermessungsverwaltung
<http://www.geodaten.bayern.de>
 Stand 22.5.2002, 17:50 Uhr
- W-CEG02 Homepage von CEGIS, Bangladesch
<http://www.cegisbd.com/>
 Stand 17.6.2002, 16:00 Uhr
- W-CIA02 Central Intelligence Agency - The World Factbook 2001
<http://www.odci.gov/cia/publications/factbook/index.html>
 Stand 8.4.2002, 11:50 Uhr
- W-DÄR01 Homepage des Outdoor-Ausrüsters DÄRR
<http://www.daerr.de>
 Stand 15.11.2001, 13:00 Uhr
- W-DCW02 Digital Chart of the World
<http://www.maproom.psu.edu/dcw/>
 Stand 17.6.2002, 18:20 Uhr
- W-DEF02 Homepage der Definiens AG
<http://www.definiens.com/>
 Stand 10.6.2002 15:02 Uhr

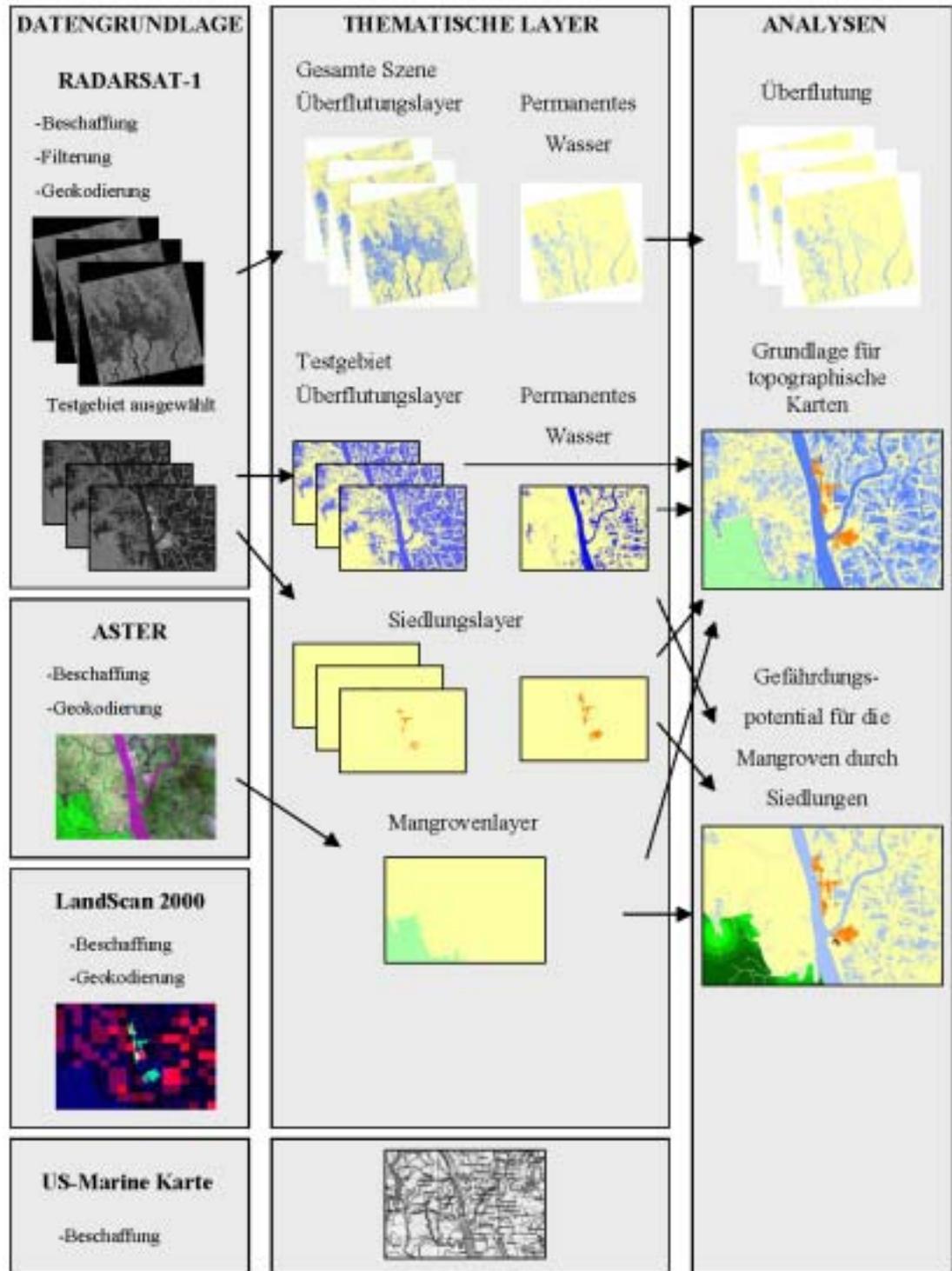
- W-EOS00 EOS Data Center Gateway
<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome>
Stand 10.1.2002, 11:50 Uhr.
- W-ERS02 Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC)
<http://www.gds.aster.ersdac.or.jp>
Stand 22.6.2002, 12:30 Uhr
- W-GES02 Online-Anleitung zur Erstellung von DHM aus ASTER-Daten
http://www.geosystems.de/pdf/ASTER_DHMO_Ortho_Supportinfo.pdf
Stand 21.5.2002, 12:50 Uhr
- W-GOO01 Homepage der Suchmaschine Google
<http://www.google.com>
Stand 12.11.2001, 9:20 Uhr
- W-HAH02 Homepage von Andreas Hefti
<http://home.datacomm.ch/andreas.hefti/>
Stand 28.5.2002 13:40 Uhr
- W-HDF01 Programm hdfbrowser
<http://www.scanex.ru/downloads/eostools/hdfbrowse.zip>
Stand 11.1.2002, 14:00 Uhr
- W-HDF02 Programm HDF-Explorer
<http://www.space-research.pt>
Stand 11.1.2002, 14:30 Uhr
- W-HER02 Intro Air Photo Interpretation & Remote Sensing
Introduction to Active Microwave (Martin Herold)
<http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/>
Stand 12.6.2002, 10:45 Uhr
- W-LAN01 Online-Artikel: NASA-Daten jetzt kostenlos
<http://www.business-geomatics.com/archiv/301/um.html>
Stand 21.5.2002, 12:30 Uhr
- W-LAS02 Homepage von LandScan 2000
<http://sedac.ciesin.org/plue/gpw/landscan/>
Stand 15.6.2002, 22:20 Uhr
- W-MAP02 Homepage von Maporama
<http://www.maporama.com/>
Stand 23.5.2002, 11:10 Uhr

- W-RSI02 Homepage der kanadischen Firma Radarsat International
<http://www.rsi.ca>
Stand 5.4.2002, 11:30 Uhr
- W-SRE02 Homepage der kanadischen Weltraumbehörde (CSA), Rubrik Galerie
<http://www.space.gc.ca/space/default.asp>
Stand 22.5.2002, 10:40 Uhr
- W-UNE02 United Nations Environment Programme / Global Resource Information
Database (UNEP/GRID)
<http://grid2.cr.usgs.gov/>
Stand 15.6.2002, 21:00 Uhr
- W-UNO02 Homepage der Sektion für Kartographie der Vereinten Nationen
<http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm>
Stand 22.5.2002, 17:30 Uhr
- W-UTA02 Homepage der Kartensammlung der Universität von Texas in Austin, USA
<http://www.lib.utexas.edu/maps>
Stand 22.5.2002, 17:10 Uhr
- W-VIE02 Visible Earth Projektseite der NASA
<http://visibleearth.nasa.gov>
Stand 21.5.2002, 15:45 Uhr

ANHANG

Gesamtablauf	88
RADARSAT-1-Szene vom 18.8.2001, Testgebiet	90
Wasserlayer vom 18.8.2001, Testgebiet	90
Siedlungslayer vom 18.8.2001, Testgebiet	91
RADARSAT-1-Szene vom 11.9.2001, Testgebiet	92
Wasserlayer vom 11.9.2001, Testgebiet	92
Siedlungslayer vom 11.9.2001, Testgebiet	93
RADARSAT-1-Szene vom 5.10.2001, Testgebiet	94
Wasserlayer vom 5.10.2001, Testgebiet	94
Siedlungslayer vom 5.20.2001, Testgebiet	95
Layer des Permanentes Wasser, Testgebiet	96
Kombination aller Siedlungslayer, Testgebiet	96
Mangrovenlayer, Testgebiet.....	97
RADARSAT-1-Szene vom 18.8.2001	98
Wasser und Stadt am 18.8.2001	99
RADARSAT-1-Szene vom 11.9.2001	100
Wasser und Stadt am 11.9.2001	101
RADARSAT-1-Szene vom 5.10.2001	102
Wasser und Stadt am 5.10.2001	103
Photos vom Testgebiet	105
Aufsatz von S.Kühn, U. Benz und J. Hurley	108

Gesamtablauf



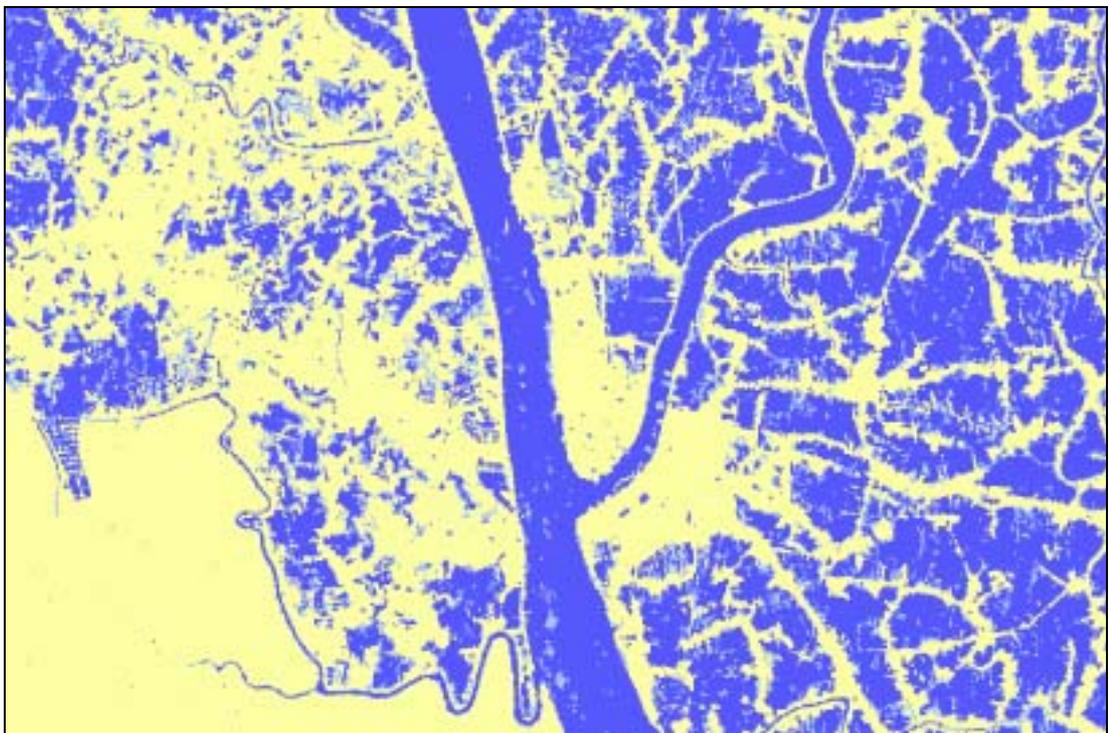
Berechnungstabelle für die Passgenauigkeit

(Standardabweichung) der Koordinaten von 26 ausgewählten Passpunkten in den RADARSAT-1-Daten

	UTM-Koordinaten (Zone 45) der Passpunkte in den drei RADARSAT-1-Bildern (m)						Differenzen der Koordinaten (m)						Durchschnitts- differenz	
	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X1-X2	Y1-Y2	X1-X3	Y1-Y3	X2-X3	Y2-Y3	X	Y
1	701 328	2 537 265	701 308	2 537 255	701 317	2 537 245	20	9	11	19	-9	10	13,54	12,76
2	717 463	2 543 222	717 455	2 543 225	717 444	2 543 250	8	-3	20	-28	11	-25	13,00	18,92
3	738 150	2 546 070	738 155	2 546 076	738 141	2 546 097	-5	-6	9	-27	14	-21	9,14	18,12
4	749 488	2 548 650	749 484	2 548 657	749 470	2 548 655	4	-7	19	-5	14	1	12,43	4,35
5	788 528	2 552 115	788 518	2 552 114	788 520	2 552 117	10	0	8	-2	-2	-2	6,39	1,56
6	797 971	2 559 982	797 969	2 559 998	797 965	2 559 999	1	-17	5	-17	4	0	3,60	11,35
7	802 147	2 453 378	802 143	2 453 406	802 131	2 453 403	5	-28	17	-25	12	3	11,17	18,90
8	726 614	2 438 793	726 608	2 438 807	726 597	2 438 818	6	-13	16	-25	11	-11	10,83	16,35
9	751 502	2 444 320	751 505	2 444 328	751 495	2 444 335	-3	-9	7	-15	10	-7	6,81	10,22
10	764 358	2 449 542	764 356	2 449 546	764 346	2 449 561	2	-5	12	-20	10	-15	8,16	13,04
11	781 241	2 450 077	781 244	2 450 091	781 220	2 450 107	-3	-14	21	-30	23	-16	15,63	19,87
12	722 148	2 479 647	722 135	2 479 662	722 145	2 479 667	13	-15	2	-20	-11	-5	8,65	13,04
13	732 560	2 476 014	732 562	2 476 002	732 556	2 476 029	-3	12	4	-15	6	-27	4,25	18,12
14	757 760	2 476 101	757 755	2 476 119	757 749	2 476 130	4	-18	11	-29	7	-11	7,48	19,40
15	802 214	2 475 865	802 221	2 475 886	802 205	2 475 886	-7	-21	9	-21	16	0	10,67	14,18
16	818 218	2 478 362	818 224	2 478 383	818 211	2 478 377	-6	-21	7	-16	13	6	8,57	14,12
17	808 337	2 531 861	808 330	2 531 869	808 324	2 531 868	8	-8	13	-7	6	1	8,86	5,05
18	777 115	2 527 132	777 112	2 527 137	777 110	2 527 146	3	-6	5	-15	2	-9	3,39	9,86
19	754 295	2 520 542	754 291	2 520 540	754 293	2 520 552	4	1	2	-11	-2	-12	2,85	7,98
20	736 753	2 510 925	736 732	2 510 942	736 740	2 510 949	22	-17	14	-24	-8	-7	14,51	15,74
21	721 157	2 503 743	721 149	2 503 769	721 138	2 503 765	8	-25	19	-21	12	4	12,86	16,93
22	805 431	2 514 105	805 424	2 514 114	805 412	2 514 129	7	-9	19	-24	12	-15	12,47	15,75
23	790 545	2 503 894	790 537	2 503 908	790 533	2 503 912	8	-14	12	-18	4	-4	7,84	12,11
24	766 445	2 493 810	766 445	2 493 820	766 439	2 493 820	0	-10	6	-10	6	0	4,27	6,54
25	766 866	2 482 700	766 866	2 482 699	766 866	2 482 703	0	1	1	-3	0	-4	0,42	2,57
26	787 203	2 493 626	787 200	2 493 619	787 204	2 493 626	3	7	-1	-1	-4	-8	2,81	5,18

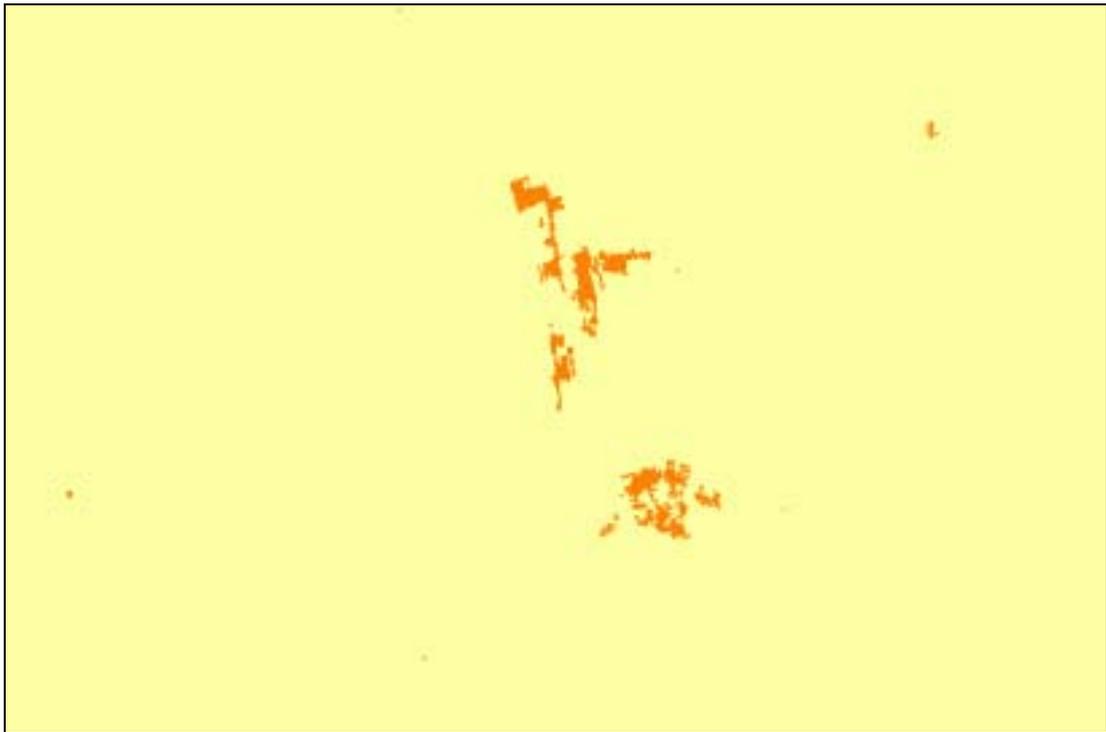
Standardabweichung in X-Richtung (m): 8,48

Standardabweichung in Y-Richtung (m): 12,38

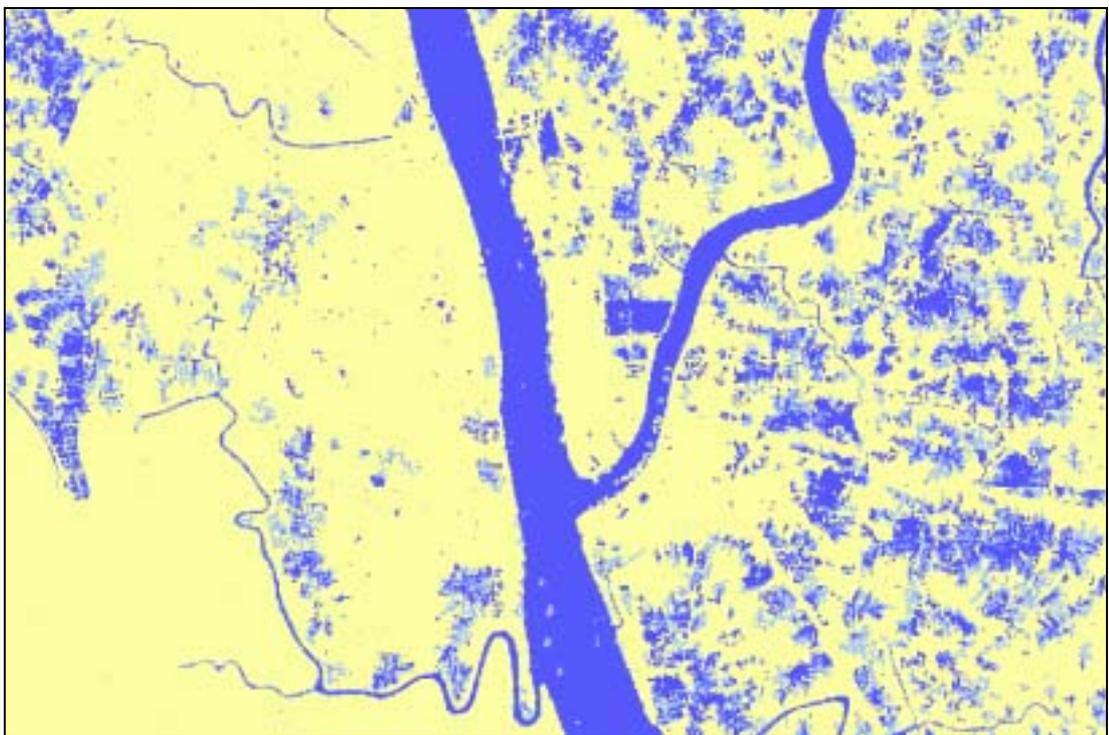
RADARSAT-1-Szene vom 18.8.2001, Testgebiet**Wasserlayer vom 18.8.2001, Testgebiet**

- Wasser mit geringer Rückstreuung
- Wasser mit erhöhter Rückstreuung
- Land

Siedlungslayer vom 18.8.2001, Testgebiet

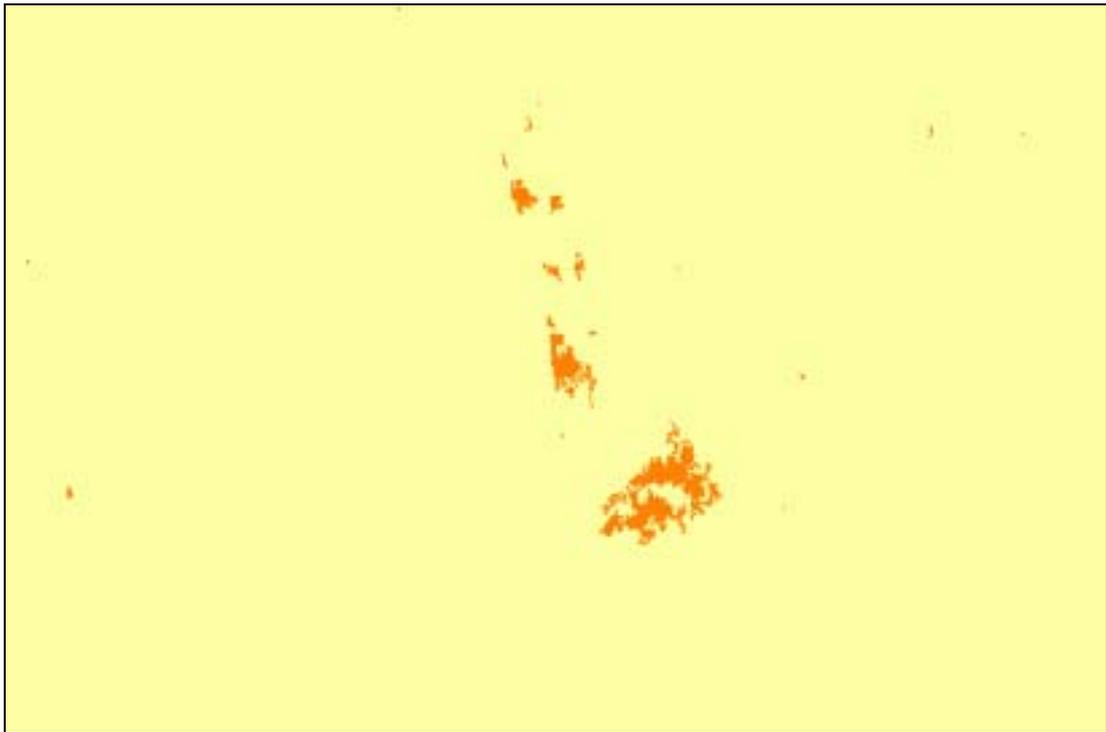


- Siedlung
- Land

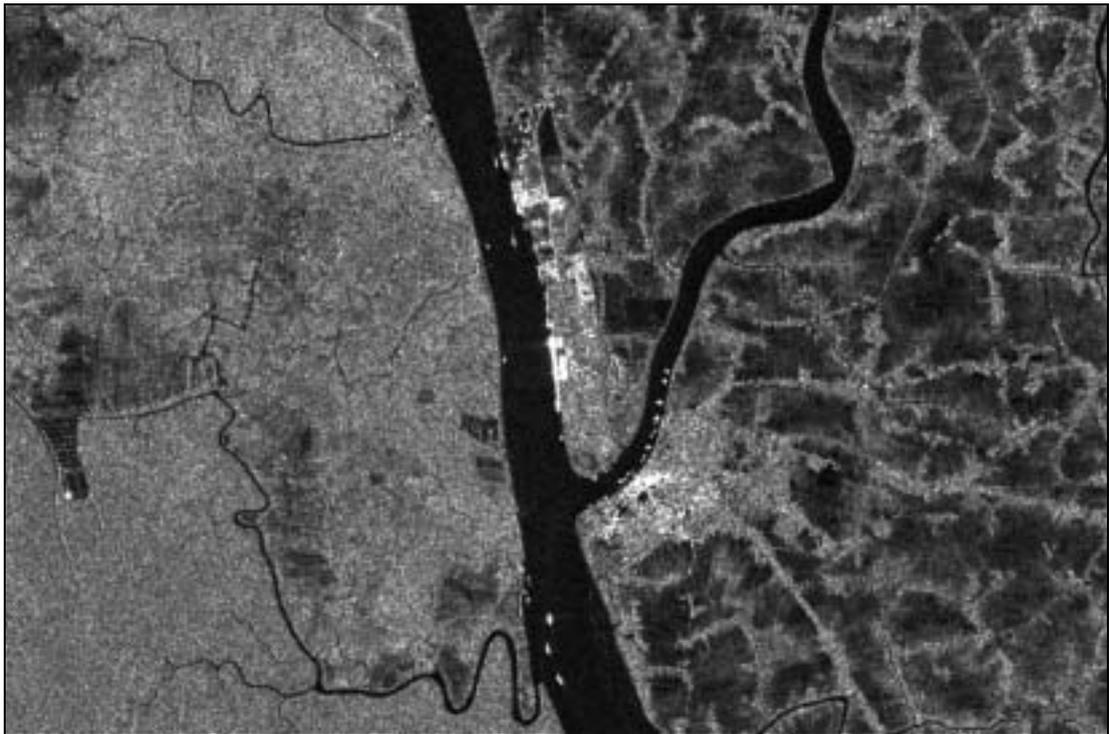
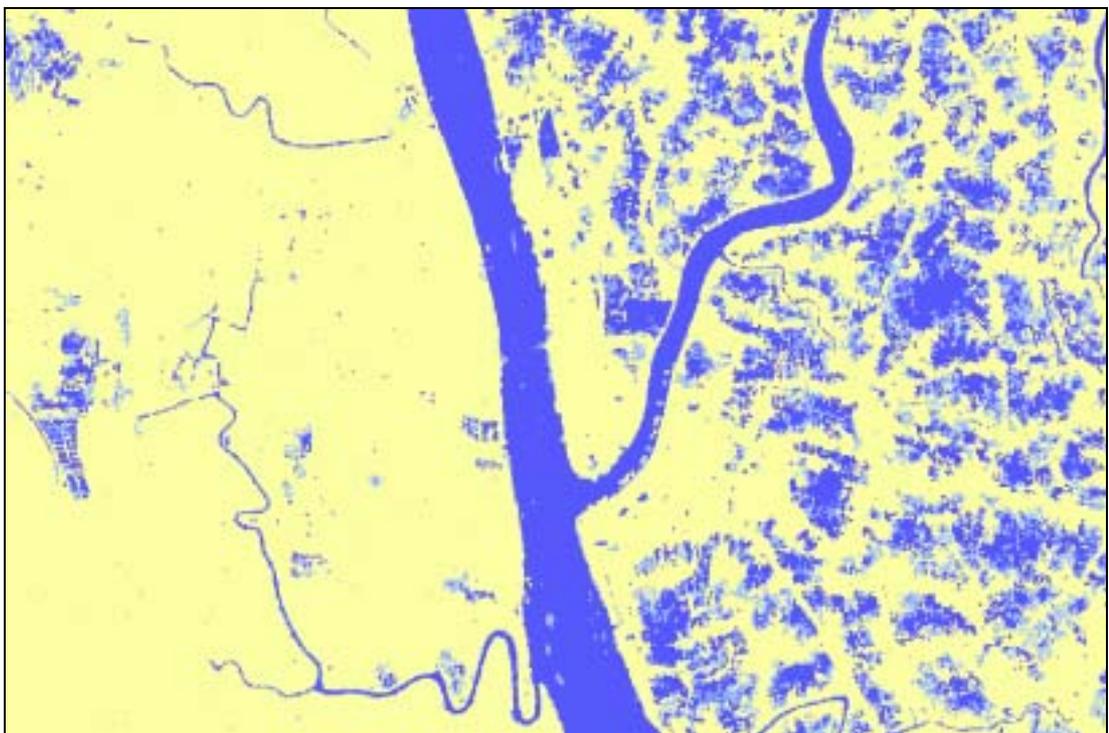
RADARSAT-1-Szene vom 11.9.2001, Testgebiet**Wasserlayer vom 11.9.2001, Testgebiet**

- Wasser mit geringer Rückstreuung
- Wasser mit erhöhter Rückstreuung
- Land

Siedlungslayer vom 11.9.2001, Testgebiet

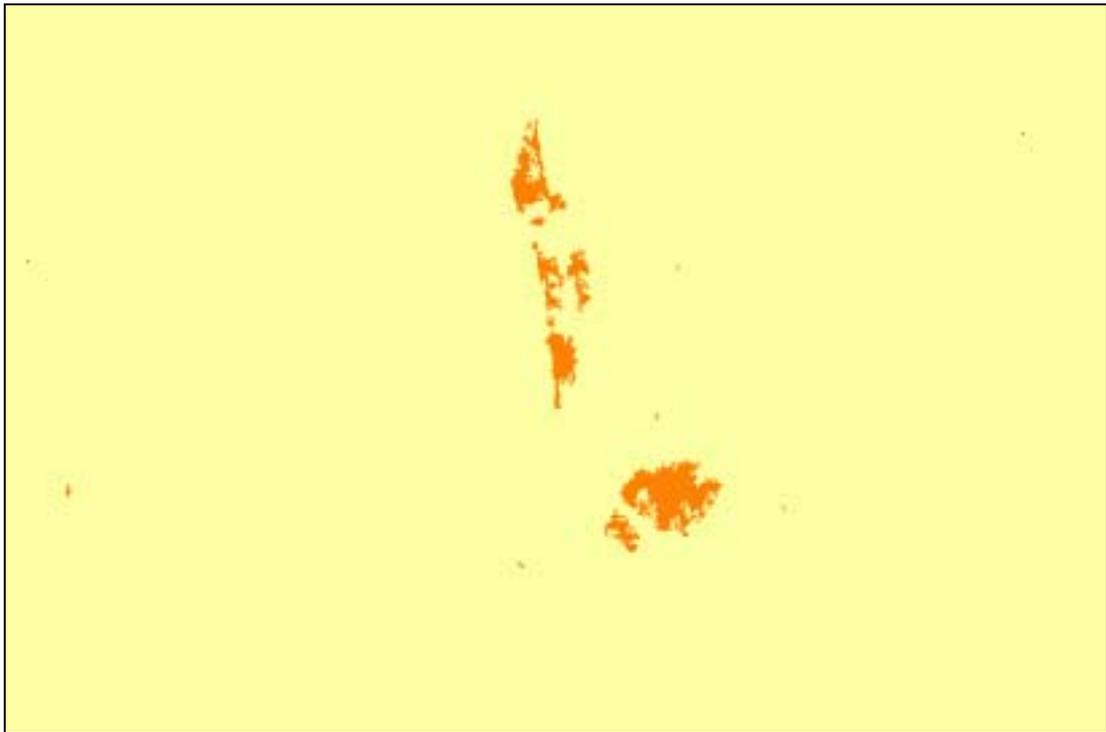


- Siedlung
- Land

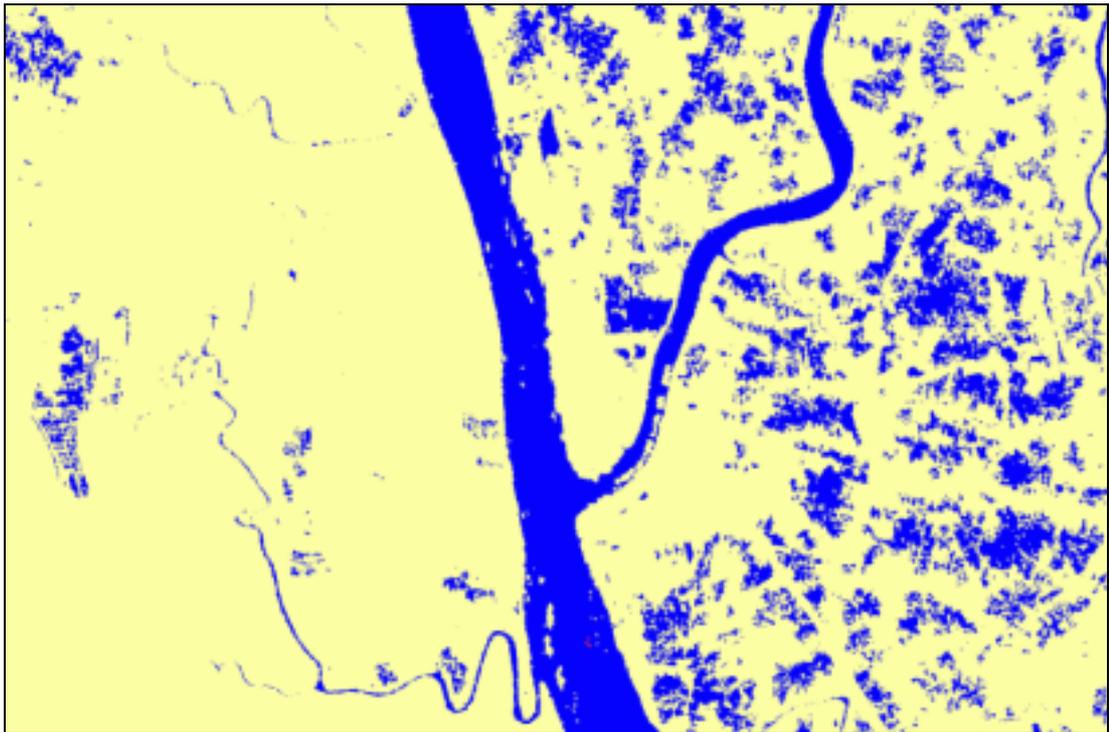
RADARSAT-1-Szene vom 5.10.2001, Testgebiet**Wasserlayer vom 5.10.2001, Testgebiet**

- Wasser mit geringer Rückstreuung
- Wasser mit erhöhter Rückstreuung
- Land

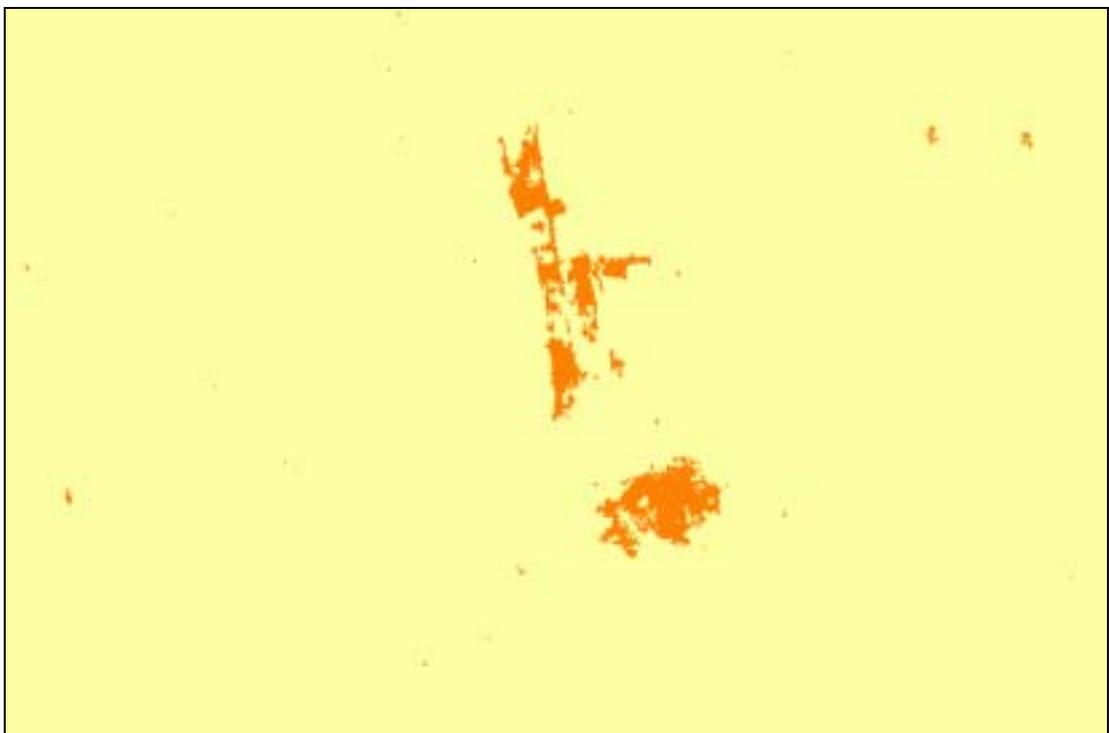
Siedlungslayer vom 5.20.2001, Testgebiet



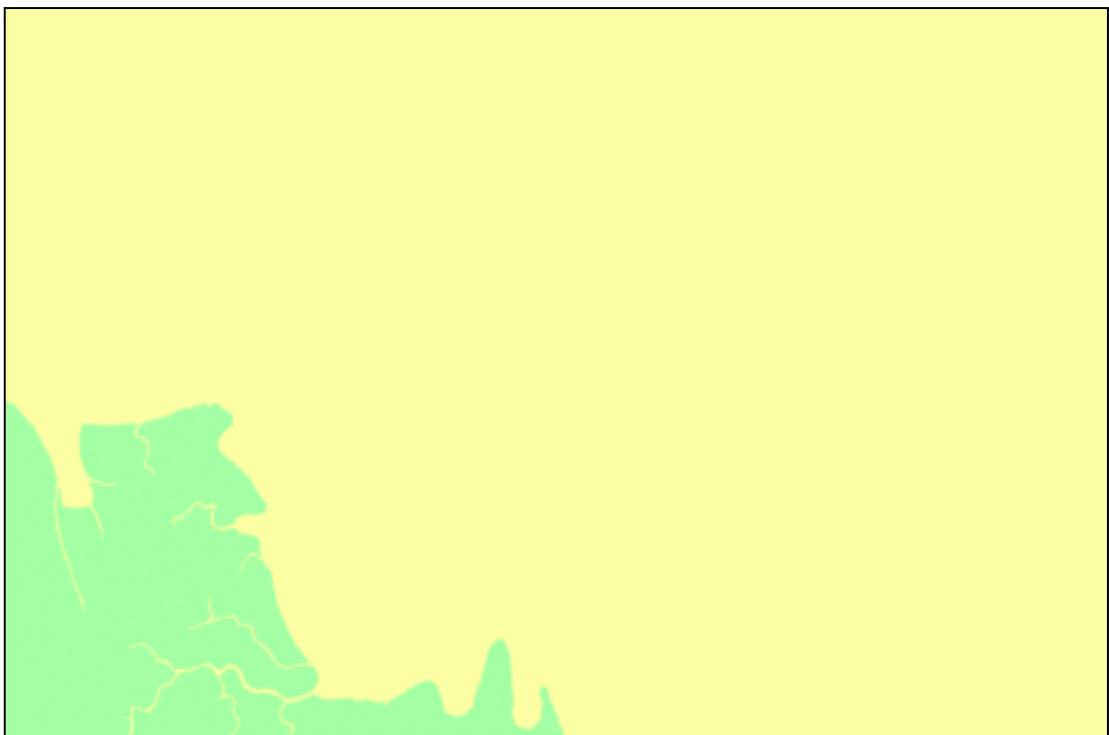
- Siedlung
- Land

Layer des Permanentes Wasser, Testgebiet

-  Land
-  permanent Wasser

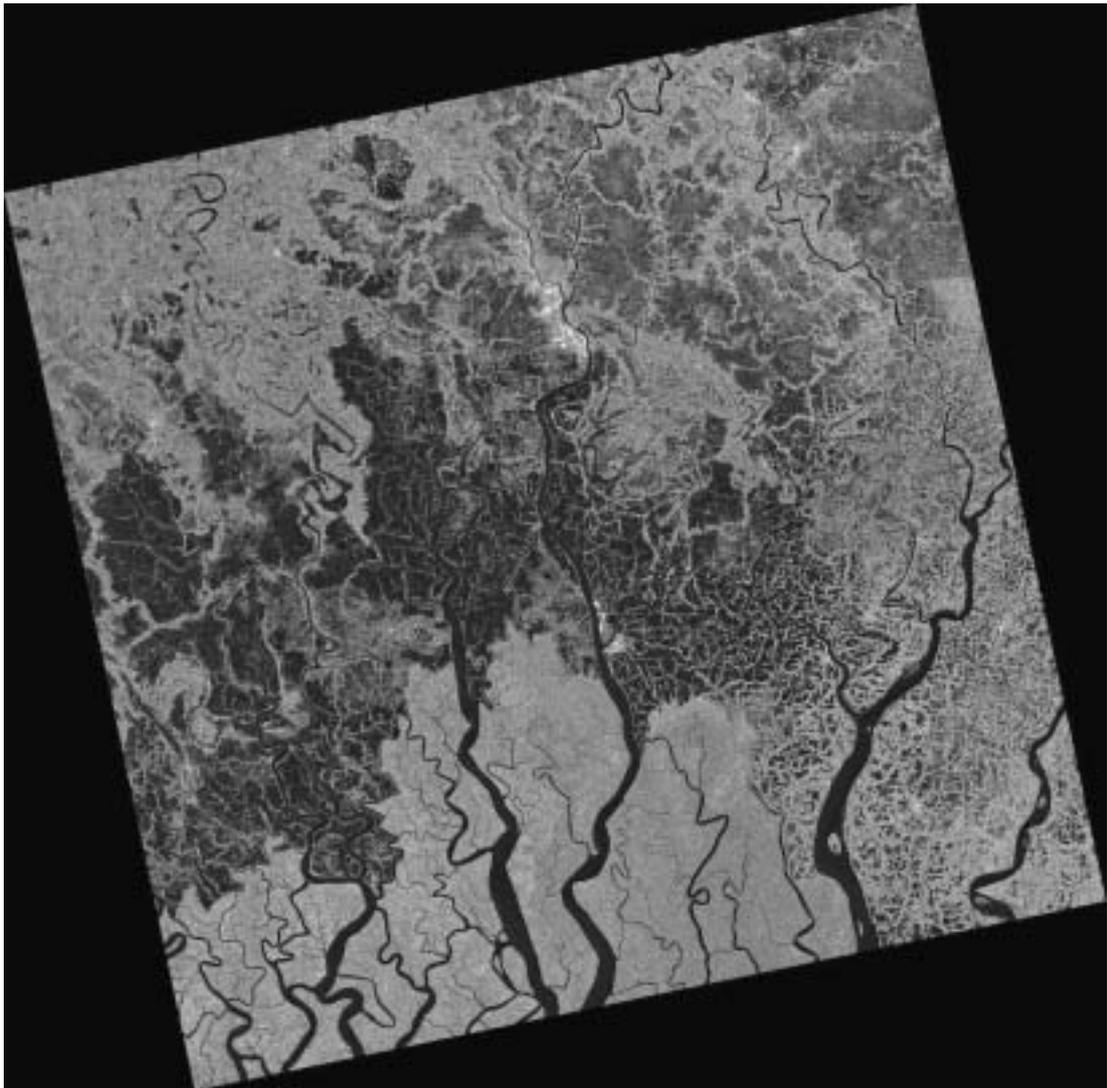
Kombination aller Siedlungslayer, Testgebiet

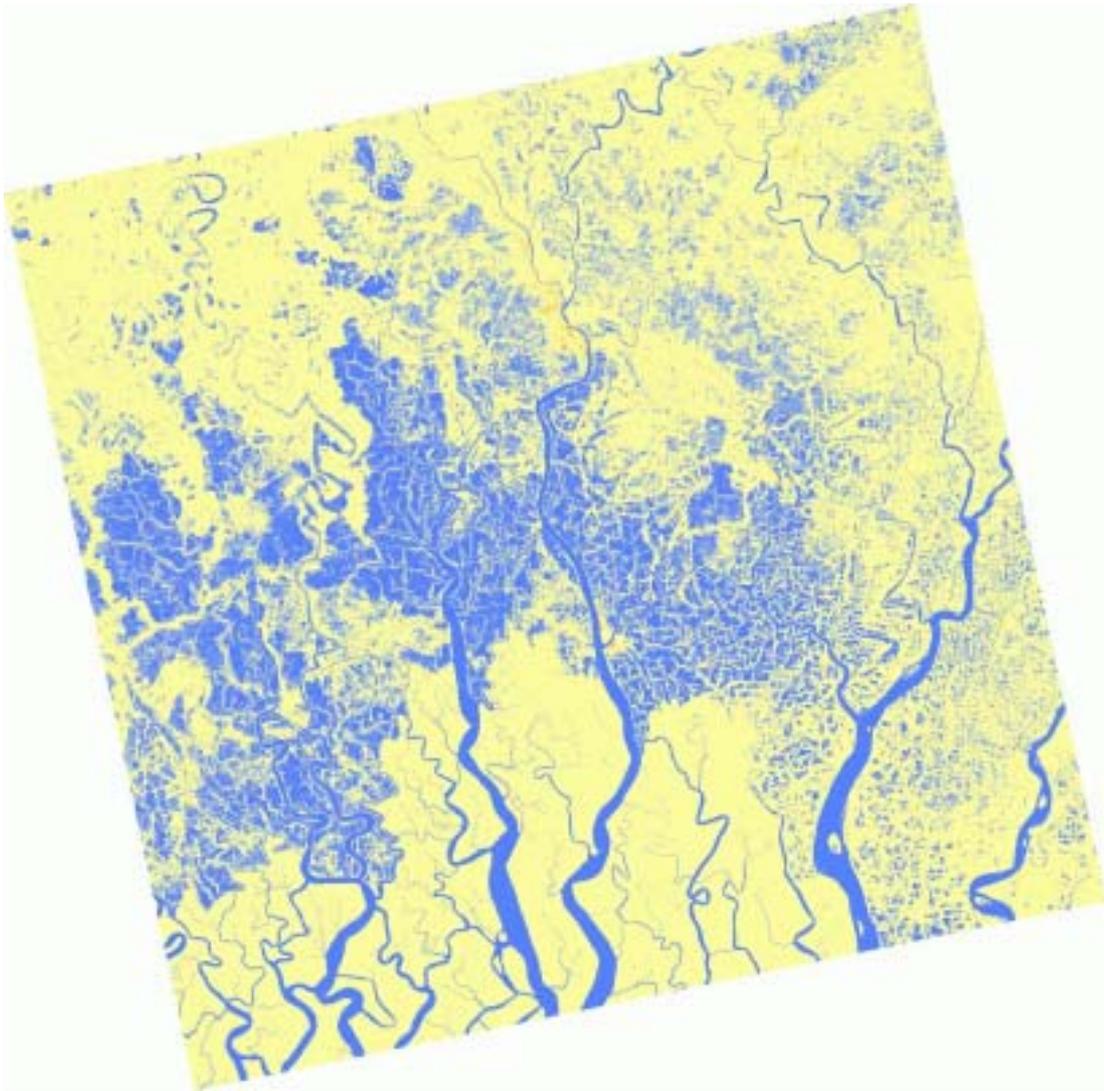
-  Siedlung
-  Land

ASTER-Daten vom 11.12.2001, Testgebiet (Falsch-Farben-Kombination)**Mangrovenlayer, Testgebiet**

● Mangroven
● Land

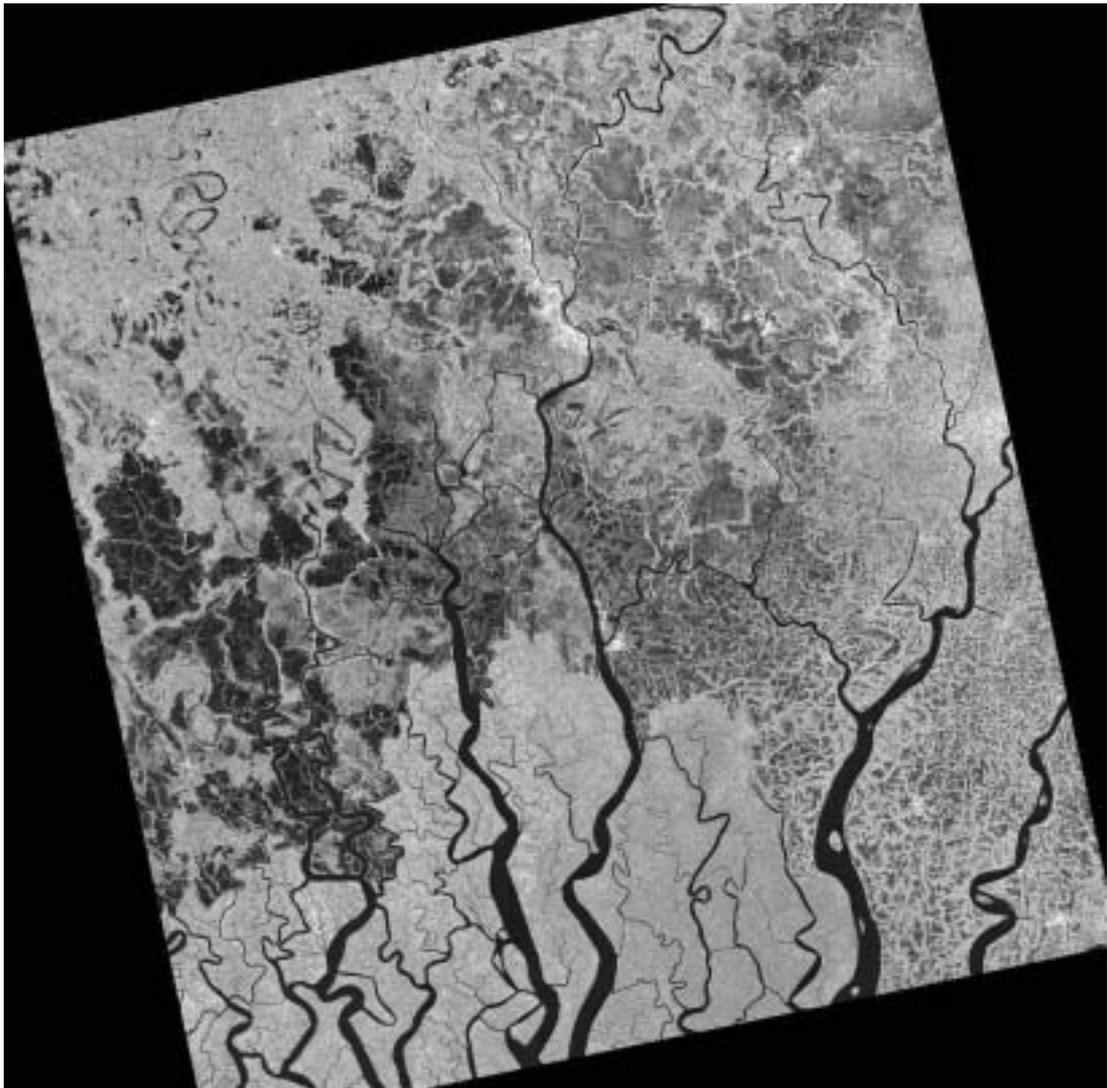
RADARSAT-1-Szene vom 18.8.2001

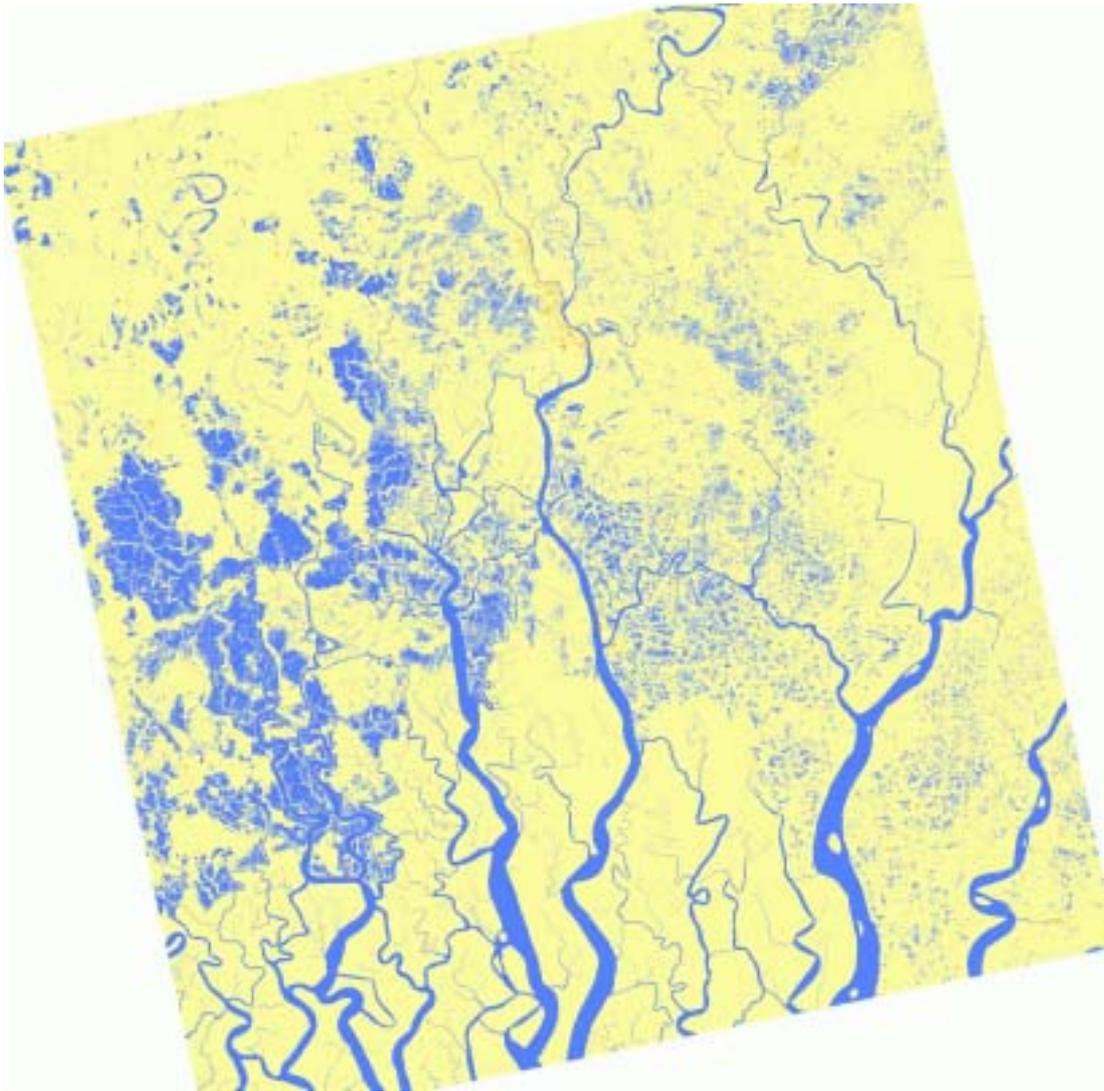


Wasser und Stadt am 18.8.2001

- Stadtgebiet
- städtische Vororte
- Wasser mit geringer Rückstreuung
- Wasser mit erhöhter Rückstreuung
- Land

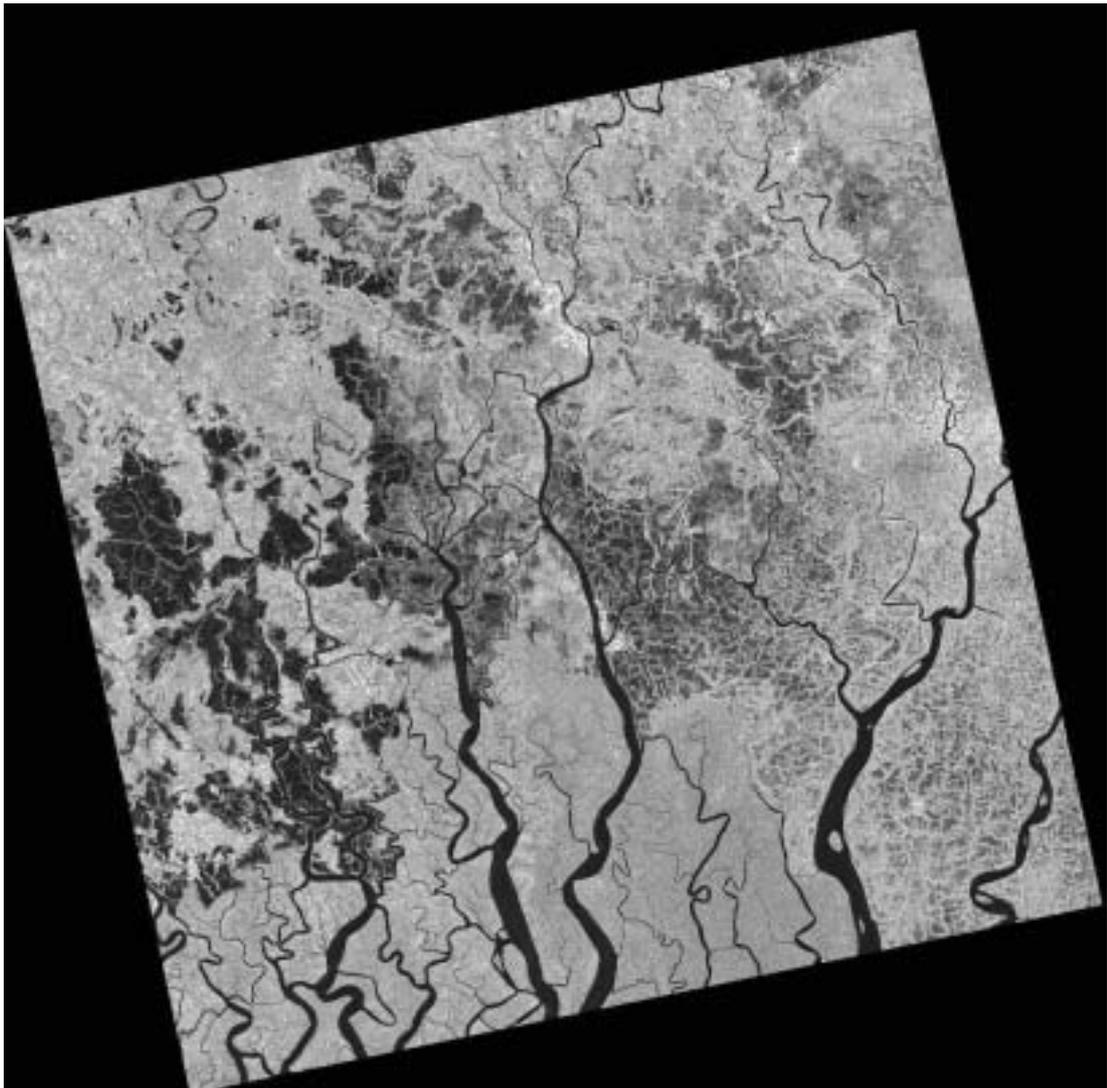
RADARSAT-1-Szene vom 11.9.2001

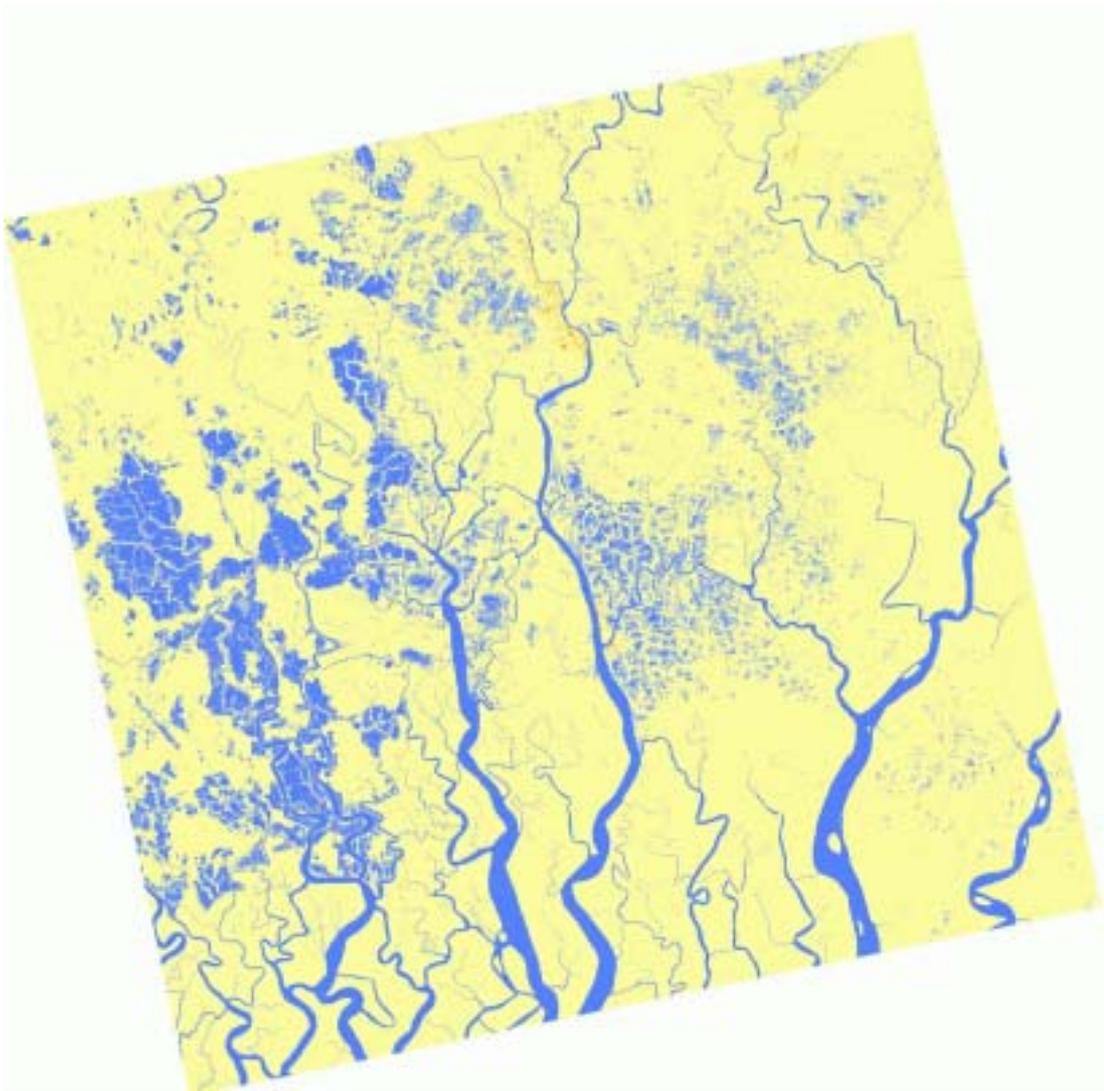


Wasser und Stadt am 11.9.2001

- Stadtgebiet
- städtische Vororte
- Wasser mit geringer Rückstreuung
- Wasser mit erhöhter Rückstreuung
- Land

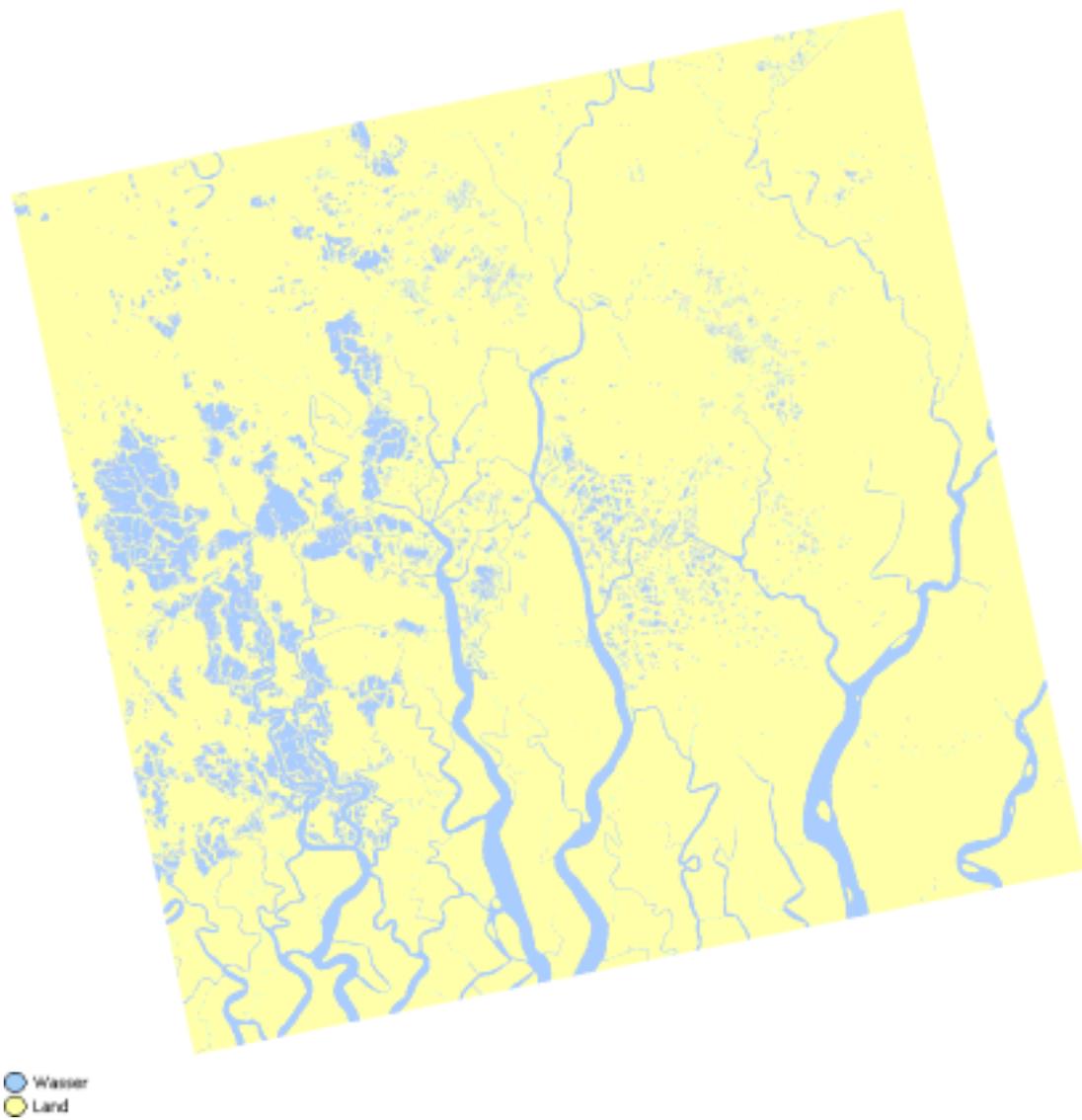
RADARSAT-1-Szene vom 5.10.2001



Wasser und Stadt am 5.10.2001

- Stadtgebiet
- städtische Vororte
- Wasser mit geringer Rückstreuung
- Wasser mit erhöhter Rückstreuung
- Land

Permanente Gewässer (August-Oktober 2001)



Photos vom Testgebiet

Alle Photos sind mit Genehmigung des Fotografen Andreas Hefti hier abgedruckt.



Falsch-Farb-Komposit von ASTER-Daten mit Blickrichtungsangaben für die einzelnen Fotos



Foto a: Blick von einem Seitenfluss auf den Passur-Fluss mit einem hochseetauglichen Schiff



Foto b (links): Typischer Anblick der Mangrovenwälder der Sundarbans von einem der unzähligen Flüsse

Foto c (rechts): Stadtansicht von Mongla mit Blick Richtung Nordosten,
im Hintergrund der Fluss Mongla Nulla



Foto d: Stadtansicht von Mongla mit Blick in Richtung Südwesten mit einem der wenigen vierstöckigen Häuser,
im Hintergrund ist der Zusammenfluss der Flüsse Mongla Nulla und Passur zu sehen



Foto e: Stadtansicht von Mongla mit Blickrichtung Osten

Aufsatz von S.Kühn, U. Benz und J. Hurley

International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2002 (IGARSS), Toronto

Seite 1

Efficient Flood Monitoring Based on RADARSAT-1 Images Data and Information Fusion with object-oriented technology

S. Koelm, U. Benz and J. Hurley

University of Technology Dresden (Germany), Definiens (Germany) and RADARSAT International (Canada)

Abstract - RADARSAT-1 delivers SAR imagery well suited for monitoring and mapping of natural risks and hazards. Current methods are either based on human interpretation and are extremely time consuming, or they are automatic pixel based approaches, which have limitations for many applications. Here, we propose a new object-oriented strategy to monitor flooding using three RADARSAT-1 data sets with different acquisition times during the flood event shortly after the monsoon. A flexible strategy for the fusion of SAR and optical data is proposed. Using the synergy of data fusion enhances the usefulness of each individual sensor.

I INTRODUCTION

Radar data are well suited for operational classification, because they are independent from weather and daylight. RADARSAT-1 is the first commercial SAR satellite, which reliably delivers data of appropriate resolution. The advantage of RADARSAT-1 for flood monitoring has been shown on numerous occasions.

A limitation that has plagued SAR imagery for many years has been the lack of a system that is able to effectively classify the data. It is obvious for most experienced SAR image analysts that there is a large degree of information regarding the land cover contained in an image. However, the problem has always been extracting this information in a fast and reliable manner.

The presence of speckle in SAR imagery makes traditional pixel-based classifiers a poor choice when attempting to classify a radar scene. While simple techniques such as thresholding DN values have been used, they only produce moderately successful results, and can only distinguish a few classes. Such an approach also requires extensive filtering of the data, before and after the classification, to create a product that can be exported and used in a GIS. Another simple technique often used, even today, is on screen digitizing. This approach is fraught with problems, from human error to subjective interpretation. It does however provide a quick method for extracting data when operational time constraints are an issue.

An approach that no longer looks at individual pixels, but rather homogenous areas (i.e. one land cover type), would be much more effective. The ability to add context to the classification process would also dramatically improve results. These two powerful capabilities are the basis behind the eCognition software.

Here, we propose a new methodology to monitor flooding using a flexible strategy for data and sensor fusion and object-oriented analysis. Three RADARSAT-1 data sets with different acquisition times during the flood event shortly after the monsoon are combined with ASTER data.

The method is tested on a multi-temporal RADARSAT-1 dataset in the beam mode „SAR STANDARD 5“. Data acquisition took place during the monsoon season. The three dates August, 18th (see Fig. 1), September, 11th and October, 5th, 2001, show beginning, maximum extent and end of flooding. The test area lies between 21° and 22° north and 89° and 90° east. It includes the city Khulna in the southwest of Bangladesh. This area of the Ganges Delta is predominantly mangrove and a rice growing region.

II CREATION OF MULTI-SCALE NETWORK OF IMAGE OBJECTS

Image objects are created using multi-variate segmentation. Input layers are weighted and jointly used for segmentation. For the description of spectral or color heterogeneity (h) the sum of the standard deviations of spectral values of each layer (σ_s) weighted with the weights for each layer (w_s) are used:

$$h = \sum_s w_s \cdot \sigma_s \quad (1)$$

Already at this step data fusion takes place. Sensor data with the most relevant information on the appropriate scale are weighted to a higher degree.

The segmentation approach of eCognition is object oriented analysis uses the spatial relations on different scales. The resulting image segments in the multi-temporal data stack have minimum heterogeneity, both in shape and spectral characteristic. These segments are so called image objects, which are linked to a hierarchical network.

Hierarchical object levels are produced using different thresholds for homogeneity. The higher the required homogeneity, the smaller is the average size of the objects. Objects in a lower level, so called sub-objects, are always fully contained in the object of the higher level, so called super-objects. No sub-object can belong to two super-objects. This strong hierarchy allows advanced multi-scale classification strategies.

Aufsatz von S.Kühn, U. Benz und J. Hurley

International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2002 (IGARSS), Toronto

Seite 2

Object creation leads to a significantly enlarged feature space with uncorrelated features. Objects have not only spectral features, e.g. channel ratios, but in addition to pixels they have also shape and context, which can be used in the rule base to reduce ambiguities. Window based analysis using boxes (e.g. 3x3 pixels) allows statistical evaluation but also has disadvantages. A small box around a pixel is bad for the statistical analysis and a large window yields good statistical results but it is not so nice for picture elements, which are not like a box.

All objects are assigned to the class "urban areas" if their mean brightness is larger than 30000. The neighbor-objects to the class "urban areas" are assigned to the class "suburban settlement" if their brightness value is larger than 14000. The brightness of objects in the class "smooth water" is lower than 4000. Additionally we defined class "shallow water". If an object's brightness is lower than 5000 and if it's a neighbor-object to "smooth water" then it is assigned to the class "shallow water". These neighbor-objects are also assigned to the class "shallow water", if the image object's brightness is between 5000 and 6000 and the length/width ratio is larger than 10. The classification result is shown in Fig. 3. Visual comparison with RADARSAT and ASTER data indicate high classification accuracy.



Fig. 3. Object-oriented classification from a RADARSAT-1 image between flood situations at August 14th 2001

The comparison of results shows advantages of object-oriented SAR image classification with respect to pixel-oriented classification. In the pixel-oriented classification we lose many details due to speckle (see Fig. 2), which is inherent in SAR data. Small rivers and many flooding areas are not detected, whereas they are clearly detected using the object-oriented approach. Whereas in the pixel-oriented classification 35% of land surface are assigned to "water", in the object-oriented classification 47% belong to "water". This reflects the actual situation much better.



Fig. 1. RADARSAT-1 image between flood situations at August 14th 2001



Fig. 2. Pixel-oriented classification from a RADARSAT-1 image between flood situations at August 14th 2001

In the following we describe the further improvement of the object-oriented classification result by a flexible approach for sensor fusion.

III. DESIGN OF HIERARCHICAL DATA AND SENSOR FUSION



Fig. 4. Process Flow Diagram

We designed a strategy for hierarchical data and sensor fusion from different data takes of RADARSAT and optical imagery. The strategy is depicted in Fig. 4. Each sensor data or other GIS data will be separately segmented and classified. As a result we get from each layer the most reliable class

Aufsatz von S.Kühn, U. Benz und J. Hurley

International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2002 (IGARSS), Toronto

Seite 3

assignment. These individual classifications can be fused for each application.

Each input is used only for those classes with minimum ambiguity and maximum classification reliability. Thus, the good discrimination of RADARSAT for flooded versus non-flooded areas can be supported by optical data to identify mangroves. A single date RADARSAT image does not clearly define the mangroves. The backscatter from the trees is too noisy and heterogeneous for a reliable classification. However, the infrared channel of ASTER data clearly reflects the mangroves (see Fig. 5). Using the flexible fuzzy rule base of eCognition we fused both individual classification results in an efficient way for enhanced classification.

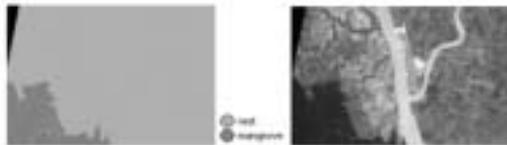


Fig. 5. Right: Classification of the mangroves based on ASTER image
Left: Original ASTER data from November 29 th 2000

This strategy can easily integrate new data or theoretical models. The modular structure gives the possibility to adjust single modules without changing the other ones. Few modifications are necessary to adapt to new input data. New additional land cover classes can be easily integrated. Instead of creating a completely new rule base for each application and sensor fusion, this strategy allows to build upon already gained experience. Thus the potential of the system can be steadily increased.



Fig. 6. Result of data and sensor fusion from RADARSAT and ASTER data

ASTER data was convenient, because they provide important complementary information and are freely distributed. If

ASTER data were not available, also the very common Landsat data would be applicable as well.

All these data sets were georeferenced and reprojected to enable data fusion and the combined usage in the supervised fuzzy classification.

The resulting classification is shown in Fig. 6.

IV. DISCUSSION

Here we showed the advantages of object-oriented analysis of RADARSAT data in comparison with pixel-based approach. Additionally, the flexible fuzzy rule base for data and information fusion helps to build up an efficient strategy to derive synergy from SAR and optical data. The hierarchical network provides object features like neighborhood relations. Together with geometric features (e.g. object length to object weights) it is possible to distinguish between small rivers and flooding areas.

ACKNOWLEDGMENT

This work is part of a thesis: "Objektorientierte Analyse von RADARSAT-1-Daten in Überflutungsgebieten am Beispiel eines Testgebietes in Bangladesch" (Object-oriented analysis of RADARSAT-1 data in flooding area by the example of a test zone in Bangladesh) from the Institute of Cartography at the Dresden University of Technology (Germany), and part of the cooperation agreement between RADARSAT International (Canada) and DeLiniens AG (Germany). Thanks also to the Environment and GIS Support Project for Water Sector Planning (Bangladesh).

REFERENCES

- [1] Baatz, M. and Schaape, A.: "Object-oriented and multi-scale image analysis in semantic networks," *Proc. 2nd International Symposium on Operationalization of Remote Sensing, ITC*, August 1999.
- [2] Ho, A. T. S., Seemahu, E. S., Tam, S. C., Chin, T. W. and Lim, H. S.: "Improving SAR image classification in tropical region through fusion with SPOT data", Nanyang Tech. U., IGARSS '98
- [3] Tooma, M.: "Land-use classification using SAR images," *Photogrammetric Journal of Finland*, vol. 15, no. 2, pp. 31-47, 1997.
- [4] Benz, U.C.: "Supervised fuzzy analysis of single- and multichannel SAR data," *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 37, pp. 1023-1037, March 1999.