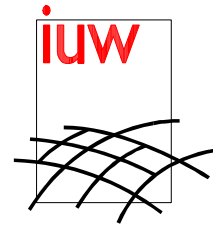


Hochschule Vechta

Institut für Umwelt-
wissenschaften



**Computergestützte Klassifizierung und Kartierung von
Biotoptypen auf der Grundlage digitaler
hochauflösender multispektraler Scannerdaten
Wiederholungsbefliegung 2002**

**- Abschlussbericht -
September 2003**

Prof. Dr. – Ing. Manfred Ehlers,
Dipl. - Biol. Ronald Janowsky
Dipl. - Geogr. Monika Gähler

Institut für Umweltwissenschaften, Hochschule Vechta, Postfach 1553, 49364 Vechta

Inhalt

KURZFASSUNG	I
HAUPTTEIL	1
1. Einleitung	1
2. Untersuchungsgebiet	3
3. Datengrundlage	4
4. Digitale Bildanalyse	6
4.1. Ableitung weiterer Informationen aus den Bilddaten – Level 1	6
4.1.1. Höheninformationen	6
4.1.2. Textur	7
4.1.3. Vegetationsindex	7
4.1.4. Zusammenführung und Anpassung der zu klassifizierenden Daten	8
4.2. Separierung von Informationen – Level 2	9
4.2.1. Semantische Trennung durch abgeleitete Masken	9
4.2.2. Definition von Mindestgrößen der Objektklassen	9
4.3. Bildbearbeitung/Klassifikation – Level 3	13
4.4. GIS-gestützte Nachbearbeitung der Klassifikationsergebnisse – Level 4	14
4.4.1. Zusammenführung der bisherigen Ergebnisse	14
4.4.2. Auffüllen der Schattenbereiche	14
4.4.3. Zuweisung von Mindestflächengrößen und Filterung der Ergebnisse	14
4.4.4. Definition von Nachbarschaft	15
4.4.5. Vektorisierung	15
4.4.6. Manuelle Reklassifikation der Ergebnisse	17
5. Bewertung der Ergebnisse / Genauigkeitsabschätzung	19

LITERATUR	21
------------------	-----------

ANHANG	23
---------------	-----------

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht des Untersuchungsraumes (Kernflächen rot) _____	3
Abbildung 2: Funktionalität des Focal Majority-Filters _____	9
Abbildung 3: Darstellung der Ergebnisse der Separierung der Informationen (am Beispiel Heuckenlock) _____	11
Abbildung 4: Separieren der Informationen aus einem Mehrkanalbild mit Hilfe der abgeleiteten Masken (Heuckenlock) _____	12
Abbildung 5: Beispielhafte Darstellung der Verfahren zum Auffüllen der Schattenbereiche und zur Rekodierung von Flächen aufgrund der Nachbarschaft (Heuckenlock) _____	16
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Klassifikationsablaufes _____	18
Abbildung 7: Genauigkeitsabschätzung „Heuckenlock“ _____	20
Tabelle 1: Technische Daten des Kameramodelle HRSC-AX _____	4
Tabelle 2: Eingangsdaten des Klassifikationsprozesses _____	8
Tabelle 3: Legende zu den erfassten Biotoptypen _____	24

Kurzfassung

Ziel des vorgestellten Projektes (Projektzeitraum: November 2002 bis September 2003) war die Modifikation, Weiterentwicklung und Anwendung einer am Institut für Umweltwissenschaft (IUW) entwickelten semiautomatisierten Auswertemethodik zur Biotoptypenerfassung auf Grundlage von HRSC-Daten auf das im Planfeststellungsbeschluss zum Ausbau der Unter- und Außenelbe festgelegte Beweissicherungsgebiet zwischen Geesthacht und Glückstadt (vgl. PLANFESTSTELLUNGSBESCHLUSS zur Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt, 1999, S. 45). Auftraggeber des Projektes war der Träger des Vorhabens zum Ausbau der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe, das Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg. Das Projekt wurde im September 2003 mit der Abgabe der erzielten Ergebnisse an den Auftraggeber bzw. die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz, abgeschlossen.

Das vom IUW erarbeitete Verfahren wurde im Rahmen mehrerer Projekte entwickelt (vgl. Ehlers, et al. 2000, Ehlers, et al. 2002a und b).

Ausgangspunkt dieser Projekte war das vom IUW im Rahmen des Pilotprojektes „Entwicklung einer Methode zur automatisierten Biotoptypenerfassung auf Grundlage von HRSC-A-Scannerdaten“ (Projektzeitraum: Oktober 1999 bis April 2000) erarbeitete Verfahren, das anhand dreier ausgewählter Testgebiete an der Unterelbe entwickelt wurde. Das Pilotprojekt hat gezeigt, dass der Einsatz des HRSC-A-Scanners grundsätzlich für Biotoptypenerfassungen geeignet ist und entscheidende Vorteile gegenüber den nur analog auszuwertenden CIR-Aufnahmen erbringen kann (vgl. Ehlers et al., 2000; BfG, 2000). Weiterhin wurde festgestellt, dass auf der Grundlage von digitalen hochauflösenden multispektralen HRSC-A-Befliegungsdaten eine teilweise automatisierte Klassifizierung von Biototypen möglich und die dabei erzielte Lagegenauigkeit und der Detaillierungsgrad der Klassifizierung sehr hoch ist. Als weitere Vorteile wurden die hervorragende Eignung dieser Fernerkundungsdaten für eine flächenscharfe Abgrenzung von Biototypen in großen, schwer überschaubaren oder unzugänglichen Gebieten sowie die Möglichkeit des fortwährenden Zugriffs auf die Grunddaten und damit die Reproduzierbarkeit der Aussagen herausgehoben. Auftraggeber des Pilotprojektes war die BfG.

Als Konsequenz wurde im Jahr 2000 eine „Null-Befliegung bzw. eine „Null-Kartierung“ des gesamten Beweissicherungsgebietes vom Träger des Vorhabens, dem Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg, in Auftrag gegeben, um eine geeignete Vergleichsgrundlage für eine Folge-Kartierung bzw. Folge-Befliegung auf Basis von HRSC-Daten zu schaffen. Die Auswertung dieser Daten erfolgte am IUW durch die Anwendung und Modifikation der semiautomatisierten Auswertemethode gemäß Pilotprojekt (vgl. Ehlers et al., 2002a).

Ziel des im Folgenden vorgestellten Projektes war die Auswertung und Anpassung der entwickelten Methoden der inzwischen erfolgten Wiederholungsbefliegung des Beweissicherungsgebietes zwischen Geesthacht und Glückstadt im Jahr 2002 auf die Datengrundlage von HRSC-AX-Bilddaten. Auftraggeber war wiederum das Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg. Der Projektzeitraum erstreckte sich von November 2002 bis September 2003.

Eine erste Modifikation und Anpassung der Methodik an das in diesem Projekt verwendete neuentwickelte Kameramodell HRSC-AX fand bereits im Zeitraum zwischen Dezember 2001 und November 2002 für ein festgelegtes Gebiet an der Unter- und Außenelbe zwischen Glückstadt und Cuxhaven sowie im Vaaler Moor (Schleswig-Holstein) statt (vgl. Ehlers et al., 2002b). Auftraggeber für das Projekt war die BfG. Die dabei erzielten Methodenanpassungen kamen in diesem Projekt zum Einsatz.

Als Datengrundlage der vorliegenden Auswertung dienten die von TerraImaging/ISTAR, Berlin, mittels einer HRSC-AX-Befliegung am 29. Juli 2002 erhobenen Bilddaten (einschließlich abgeleiteter digitaler Oberflächenmodelle). Die Qualität der Daten ist bis auf Teilbereiche des Untersuchungsgebietes im Norden (v.a. Pagensand, Rhinplate, Haseldorf) hervorragend. Diese Gebiete werden teilweise sehr stark von Wolken bedeckt. Für das Gesamtbefliegungsgebiet beträgt der Bewölkungsgrad jedoch 4 % (455km²) und entspricht damit den gesetzten Qualitätskriterien. Aufgrund der Bewölkung in den genannten Bereichen war hier jedoch ein erheblicher Mehraufwand zur Durchführung der Auswertung notwendig. Als Referenzmaterial standen Ergebnisse aus der „Null-Kartierung“ aus dem Jahre 2000 zur Verfügung.

Die in diesem Projekt erweiterte Methodik für die semiautomatisierte Ableitung von Biotoptypen auf Grundlage von HRSC-Daten stellt wie schon im Pilotprojekt einen hierarchischen Klassifikationsablauf dar. Die zentralen Verarbeitungsschritte konnten dabei aus den voran gegangenen Projekten übernommen werden; sie mussten jedoch minimal modifiziert und konnten zum Teil verbessert werden. Die Verarbeitungsschritte können folgendermaßen gekennzeichnet werden:

Level I. Ableitung weiterer Informationen aus den Bilddaten

Level II. Separierung von Informationen mittels

a) abgeleiteter Masken und

b) GIS-gestützter Bearbeitung (Definition von Mindestflächengrößen)

in drei verschiedene semantische Informationsschichten

(Wasser/Offenboden/Schatten, krautige niedere Vegetation, hohe Vegetation,

- Level III.** individuell angepasste **computergestützte Klassifikation** der semantischen Informationen (unüberwachte und überwachte Klassifikation);
- Level IV.** **GIS-gestützte Nachbearbeitung** der Klassifikationsergebnisse (Zusammenführung der Klassifikationsergebnisse, Definition von Mindestflächengrößen und Nachbarschaftsbeziehungen der Biotoptypen, Auffüllen der Schatten).

Eine Modifikation der Methodik musste bei der Verfahrensweise der Separierung von Informationen vorgenommen werden:

In den vorhergehenden Projekten konnten Vegetationsindizes basierend auf den spektralen Kanälen der HRSC-Kameramodelle definiert werden, so dass Offenboden - niedere Vegetation – hohe Vegetation eindeutig getrennt werden konnten. Die gängigen Vegetationsindizes führten dabei allerdings nicht zu akzeptablen Ergebnissen. Aufgrund des verbesserten Kameramodells konnten in diesem Projekt unter Verwendung des „Standardverfahrens“ zur Berechnung von Vegetationsindizes, der **Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)**, die gleichen hervorragenden Ergebnisse erzielt werden (2a). Diese Separierung erfolgte ebenfalls im Gegensatz zum Pilotprojekt unter dem Kriterium von Mindestflächengrößen zum Eliminieren von kleinsten Flächen (2b).

Des Weiteren wurde vor allem der Verarbeitungsschritt der „GIS-gestützten Nachbearbeitung der Klassifikationsergebnisse“ erweitert. So wurden z.B. die Mindestflächengrößen der einzelnen Biotoptypen modifiziert als auch z.T. Nachbarschaftsverhältnisse/ -bedingungen definiert. Der weiterentwickelte Klassifikationsablauf konnte z.T. mit dem Modul „Spatial Modeler“ des Bildverarbeitungsprogramms ERDAS IMAGINE® standardisiert und automatisiert werden.

Der erfolgreiche Abschluss und die Qualität der abgegebenen Auswertung bestätigen die in den Projekten gewonnenen Erfahrungen hinsichtlich der Möglichkeiten einer computergestützten Auswertung hochauflösender Daten für die Biotoptypenkartierung.

Insbesondere durch die hohe räumliche Auflösung und geometrische Exaktheit der Datengrundlagen und Methoden können Auswertungen von neuem Qualitätsstandard vorgelegt werden. Die Automatisierung des Verfahrens erlaubt zudem eine weitestgehend bearbeiterunabhängige Reproduktion der erstellten Auswertung, so dass insbesondere für ein langfristiges Monitoring-Vorhaben günstigste Rahmenbedingungen geschaffen worden sind. Die erzielten Genauigkeiten sind weitestgehend im Bereich der von der BfG im Pilotprojekt ermittelten Größenordnung anzusiedeln, wobei im Vergleich zu den Vorgängerprojekten erhebliche Fortschritte durch den Ausbau der GIS-basierten Nachbearbeitung erreicht wurden, insbesondere hinsichtlich der Ausfilterung nicht erwünschter Informationen.

Hauptteil

1. Einleitung

Die Grundlagen des vorgestellten Projektes bilden die am IUW durchgeführten Projekte „Entwicklung einer Methode zur automatisierten Biotoptypenerfassung auf Grundlage von HRSC-A-Scannerdaten“ (vgl. Ehlers et al., 2000; BfG, 2000), „Anwendung einer Methode zur automatisierten Biotoptypenerfassung auf der Grundlage einer HRSC-AX-Befliegung im Beweissicherungsverfahren zum 14,5m-Ausbau von Unter- und Außenelbe“ (vgl. Ehlers et al., 2002a) und „Auswertung von höchstauflösenden multispektralen Scannerdaten (HRSC-AX) der Unter- / Außenelbe zwischen Glückstadt und Cuxhaven zur lagegenauen Biotoptypenkartierung von großflächigen Kompensationsmaßnahmen“ (vgl. Ehlers et al., 2002b).

Im Zuge der Beweissicherung des 1999 abgeschlossenen Vorhabens „Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt“ wurde das Institut für Umweltwissenschaften (IUW) der Hochschule Vechta im Sommer 1999 von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) beauftragt, eine standardisierbare Methode der Bildanalyse zur Ableitung von Biotoptypen aus höchstauflösenden Scannerdaten am Beispiel der High Resolution Stereo Camera - Airborne (HRSC-A) für ein flächenscharfes Monitoring im Bereich der Unter- und Außenelbe zu entwickeln und zu testen.

Dieses von Oktober 1999 bis April 2000 durchgeführte Pilotprojekt „Entwicklung einer Methode zur automatisierten Biotoptypenerfassung auf Grundlage von HRSC-A-Scannerdaten“ hat gezeigt, dass der Einsatz des HRSC-A-Scanners grundsätzlich für Biotoptypenerfassungen geeignet ist und entscheidende Vorteile gegenüber den nur analog auszuwertenden CIR-Aufnahmen erbringen kann (vgl. Ehlers et al., 2000; BfG, 2000). Weiterhin wurde festgestellt, dass auf der Grundlage von digitalen hochauflösenden multispektralen HRSC-A-Befliegungsdaten eine teilweise automatisierte Klassifizierung von Biotoptypen möglich und die dabei erzielte Lagegenauigkeit und der Detaillierungsgrad der Klassifizierung sehr hoch ist. Als weitere Vorteile wurden die hervorragende Eignung dieser Fernerkundungsdaten für eine flächenscharfe Abgrenzung von Biotoptypen in großen, schwer überschaubaren oder unzugänglichen Gebieten sowie die Möglichkeit des fortwährenden Zugriffs auf die Grunddaten und damit die Reproduzierbarkeit der Aussagen herausgehoben.

Bei einem Vergleich der Biotoptypenkartierungen der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) und der semiautomatisierten HRSC-A-gestützten Klassifizierung der beiden Testgebieten Pagensand und Heuckenlock wurden z.T. erhebliche Differenzen festgestellt, die auf verschiedene Ursachen zurückzuführen sind (vgl. Ehlers et al., 2000, S. 35ff.).

Hinsichtlich der Beweissicherung im Rahmen des Vorhabens „Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe“ folgte die BfG (2000, S. 44) aufgrund dieser Differenzen, dass „*sich*

die Kartierung der UVS als Grundlage für eine flächengenaue Beweissicherung nicht oder nur sehr bedingt heranziehen lässt.“

Als Konsequenz wurde im Jahr 2000 eine „Null-Befliegung bzw. eine „Null-Kartierung“ des gesamten Beweissicherungsgebietes vom Träger des Vorhabens, dem Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg, in Auftrag gegeben, um eine Vergleichsgrundlage für eine Folge-Kartierung bzw. Folge-Befliegung auf Basis von HRSC-Daten zu schaffen. Die Auswertung dieser Daten erfolgte am IUW durch die Anwendung und Modifikation der semiautomatisierten Auswertemethode gemäß Pilotprojekt.

Ziel des im Folgenden vorgestellten Projektes war die Auswertung und Anpassung der entwickelten Methoden für die Folge-Befliegung im Jahr 2002 für das Beweissicherungsgebiet zwischen Geesthacht und Glückstadt auf Grundlage von HRSC-AX-Daten. Auftraggeber war wiederum das Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg. Der Projektzeitraum erstreckte sich von November 2002 bis September 2003.

2. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst wie bei der „Null-Kartierung“ (vgl. Ehlers et al., 2002, S.4) den infolge der UVS zum Vorhaben „Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt“ als Bereich für ein langfristiges Monitoring ausgewählten Abschnitt der Elbe zwischen Glückstadt und Geesthacht im Grenzbereich der Bundesländer Niedersachsen, Hamburg und Schleswig-Holstein.

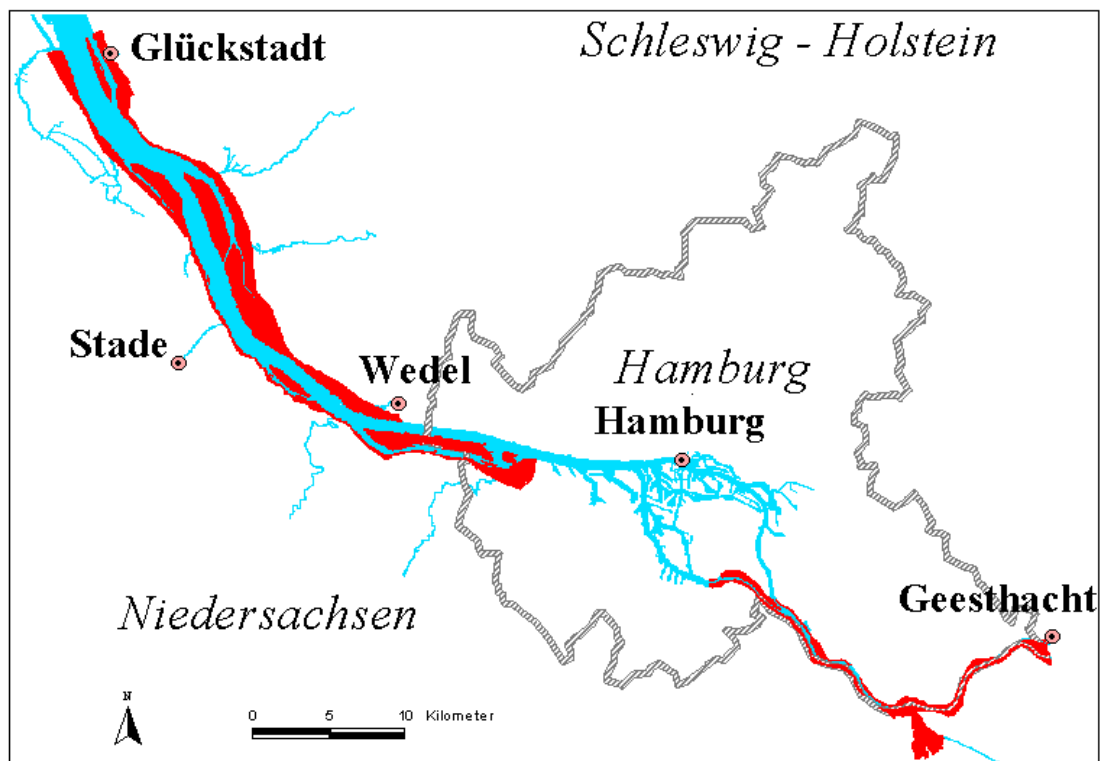


Abbildung 1: Übersicht des Untersuchungsraumes (Kernflächen rot)

3. Datengrundlage

Die Datengrundlage für die Wiederholungsbefliegung bzw. -kartierung bilden HRSC-AX-Daten. Die technischen Parameter des Kameramodells werden in Tabelle 1 dargestellt. Die Datenaufnahme erfolgte durch TerraImaging/ISATR. (vgl. TerraImaging, 2002).

Tabelle 1: Technische Daten des Kameramodell HRSC-AX (aus Terraimaging, 2002, S. 3)

Technische Parameter des Scannermodells HRSC-AX		
Focal length	151 mm	
Field of view	41° x 29°	
Number of CCD lines	9 (4 colors)	
Pixels per line	12172	
Pixel size	6.5 µm	
Radiometric resolution	12 bit	
Max. scan frequency	1640 lines/sec	
Stabilization	Zeiss T-AS platform	
Data recording	Sony highsPEED data recorder	
Georeferencing	ApplAnix POS/DG Navigation system with GPS and INS	

Filter		
Band SF Angle SF	Pan	520 - 760 nm 20,5°
Band Rd Angle Rd	Red	620 - 680 nm 2,3°
Band PF Angle PF	Pan	520 - 760 nm 12°
Band Bl Angle Bl	Blue	440 - 510 nm -4,6°
Band Nd Angle Nd	Pan	520 - 760 nm 0°
Band Gr Angle Gr	Green	520 - 590 nm -2,3°
Band PA Angle PA	Pan	520 - 760 nm -12°
Band IR Angle IR	Infrared	780 - 850 nm 4,6°
Band SA Angle SA	Pan	520 - 760 nm -20,5 °

Laut Befliegungsreport von TerraImaging erfolgte die Aufnahme des gesamten Untersuchungsgebietes im vorgegebenen Befliegungszeitfenster am 29.07.2002 zwischen 09.20 Uhr und 12.46 Uhr (UTC)¹ aus einer Flughöhe von 6000 m. Die Wetterbedingungen waren zu Beginn der Aufnahme gut, verschlechterten sich allerdings im Laufe der Befliegung, so dass der nördliche Teil des Projektgebietes durch aufkommende Quellbewölkung betroffen ist.

¹ UTC, Abk. für Universal Time Coordinated (engl.), koordinierte Weltzeit. Umrechnung: UTC = MEZ - 1 Stunde bzw. UTC = MESZ - 2 Stunden.

Als Endprodukte der Befliegung wurden dem IUW nach der Prozessierung seitens TerraImaging/ISTAR folgende Daten auf Festplatten geliefert:

- **Orthobildmosaike**
panchromatisch und die vier Multispektralkanäle (blue, green, red und ir),
Geometrische Auflösung 25 cm,
Radiometrische Auflösung Unsigned 16-bit
- **Digitales Oberflächenmodell (DOM),**
Geometrische Auflösung 100 cm,
Radiometrische Auflösung Signed 16-bit (Höhenwerte in dm ü. NN).

Die Datenlieferung erstreckte sich über den Zeitraum von Mitte Oktober 2002 und Mitte Januar 2003, da einige Neuprozessierungen, aufgrund von Fehlern in den Daten, seitens TerraImaging/ISTAR notwendig waren.

In einer ersten Stellungnahme vom IUW zur Datenqualität im November 2002 wurden folgende Aussagen gemacht:

- Das Untersuchungsgebiet wurde vollständig erfasst.
- Nach erster Durchsicht sind die Befliegungsdaten von hervorragender Qualität.
- Teilbereiche des Untersuchungsgebietes im Norden (v.a. Pagensand / Rhinplate) werden von Wolken bedeckt.
- Für das Gesamtbefliegungsgebiet beträgt der Bewölkungsgrad 4 % (455km²) und entspricht damit den gesetzten Qualitätskriterien.

Die Aussagen konnten nach der Lieferung der neuprozessierten Daten weiter verifiziert werden.

4. Digitale Bildanalyse

Die bei der „Null-Kartierung“ entwickelte und angewandte semiautomatisierte Auswertemethode konnte auf Grundlage der unterschiedlichen Kameramodelle der HRSC und aufgrund der damals mangelhaften Datenqualität nicht uneingeschränkt auf das gesamte Beweissicherungsgebiet übernommen werden.

Allerdings wurde eine Anpassung und Modifikation der Auswertemethodik auf das Kameramodell HRSC-AX bereits in dem abgeschlossenen Projekt „Auswertung von höchstaflösenden multispektralen Scannerdaten (HRSC-AX) der Unter- / Außenelbe zwischen Glückstadt und Cuxhaven zur lagegenauen Biotoptypenkartierung von großflächigen Kompensationsmaßnahmen“ (vgl. Ehlers et al., 2002b) vorgenommen. Die dort entwickelte Klassifikationsmethode konnte bis auf einige kleine Modifikationen für dieses Projekt übernommen werden.

Im Folgenden wird die im vorliegenden Projekt verwendete Auswertemethodik dargestellt.

4.1. Ableitung weiterer Informationen aus den Bilddaten – Level 1

Um eine eindeutige Zuweisung der Bildelemente zu den gewünschten Objektklassen zu ermöglichen, wurden weitere Bildinformationen (z.B. Höhe, Textur, Vegetationsindizes) berechnet und in die Klassifikation mit einbezogen.

4.1.1. Höheninformationen

Die Höheninformation ist durch das Digitale Oberflächenmodell (DOM) gegeben und beinhaltet die Höhe des abgebildeten Objektes über NN in dm. Die Informationen liegen in der radiometrischen Auflösung von „Signed 16bit“ vor, die multispektralen Daten in „Unsigned 16bit“ (vgl. Kapitel 3).

Das DOM wurde daher zur weiteren Datenverarbeitung ebenfalls in „Unsigned 16bit“ transformiert. Dabei wurden alle negativen Werte auf „Null“ gesetzt. Nach der Transformation liegt ein Wertebereich von 0 bis ca. 400 (dm) vor. Um bei der anschließenden Klassifikation eine höhere Gewichtung der Höheninformationen zu erhalten, wurde der Wertebereich des DOMs auf den Wertebereich der multispektralen Bilddaten (0 bis ca. 16.000; Unsigned 16bit) durch eine Multiplikation der Werte um 400 gestreckt.

4.1.2. Textur

Zur weiteren Informationsgewinnung wurden im Rahmen des Projektes Texturmaße berechnet. Im Gegensatz zu herkömmlichen multispektralen Klassifikationsverfahren, bei denen Pixel in mehreren Bildkanälen klassifiziert werden, wird bei der Texturanalyse die Umgebung eines Pixels, also die Beziehung zu seiner Nachbarschaft, berücksichtigt.

Mit dem Begriff Textur werden allgemein künstliche oder natürliche, regelmäßige oder unregelmäßige Oberflächenstrukturen beschrieben, die sich im Bild durch Grauwertsprünge zeigen. Geeignete Begriffe der Umgangssprache, mit denen Texturen beschrieben werden können sind z.B. „glatt“, „rau“, „streifig“, „körnig“, „fleckig“, „wolkig“.

Insbesondere die Einbeziehung eines varianz-gefilterten Bildes (7x7-Matrix auf der Basis des kantenverstärkten panchromatischen Kanals) erwies sich als gut geeignet zur Unterscheidung von Biotop- und Nutzungstypen mit sehr glatter Oberfläche wie Wasser oder Mähgrünland gegenüber solchen mit sehr rauer Struktur wie Röhricht oder Gebüsch.

$$\text{Varianz} = \frac{\sum (x_{ij} - M)^2}{n-1}$$

x_{ij} = Wert des Pixels (i,j)

n = Anzahl der Pixel im Untersuchungsfenster

M = arithmetisches Mittel aller Pixel im Untersuchungsfenster

Zusätzlich erfolgte eine Glättung unter Verwendung eines „majority-filter (vgl. Abbildung 2)“ (Größe 7x7 Pixel) zur Eliminierung von „Ausreißern“.

4.1.3. Vegetationsindex

In den vorhergehenden Projekten konnten Vegetationsindizes basierend auf den spektralen Kanälen der HRSC-Kameramodelle definiert werden, so dass Offenboden - niedere Vegetation – hohe Vegetation eindeutig getrennt werden konnten. Die gängigen Vegetationsindizes führten dabei allerdings nicht zu akzeptablen Ergebnissen. Aufgrund des verbesserten Kameramodells konnten in diesem Projekt unter Verwendung des „Standardverfahrens“ zur Berechnung von Vegetationsindizes, der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), die gleichen hervorragenden Ergebnisse erzielt werden. Dieser wird folgendermaßen berechnet:

$$NDVI = \frac{\text{Nahes Infrarot} - \text{Rot}}{\text{Nahes Infrarot} + \text{Rot}} \quad (\text{vgl. Albertz, 2001, S. 219}).$$

Die weitere Anwendung des Index erfolgte auf der Basis einer semiautomatischen Maskenerstellung mittels einfacher Schwellwertbildung (vgl. Kapitel 4.2.1).

4.1.4. Zusammenführung und Anpassung der zu klassifizierenden Daten

Für die Klassifikation oder auch zur Visualisierung müssen die einzelnen Kanalinformationen zu einem Bild zusammengerechnet werden (LAYERSTACK). Eine Auflistung der in die Klassifikation eingehenden Datensätze zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2: Eingangsdaten des Klassifikationsprozesses

Bandbelegung (Band Nr.)	
1	Blue
2	Green
3	Red
4	Infrared
5	Pan (Nadir)
6	DOM
7	NDVI
8	Textur

Nach der Zusammenführung der Kanalinformationen wurden die vom Auftraggeber definierten Untersuchungsräume aus den Bilddaten ausmaskiert.

4.2. Separierung von Informationen – Level 2

4.2.1. Semantische Trennung durch abgeleitete Masken

Zur Verbesserung der Klassifikationsgenauigkeit wurden im Projekt aus dem Mehrkanalbild die Klassen „geringe Vegetation/Offenbodenbereiche“, „niedere Vegetation“ und „hohe Vegetation“ mit Hilfe des berechneten Vegetationsindex und des DOM semiautomatisch extrahiert und anschließend separat klassifiziert. Diese Trennung hat sich als sehr sinnvoll erwiesen. Der Hörschwellwert zur Trennung von „niederer Vegetation“ und „hoher Vegetation“ wurde auf 8 m ü. NN festgelegt.

4.2.2. Definition von Mindestgrößen der Objektklassen

Als Weiterentwicklung des Pilotprojektes wurden aus dem Ergebnisbild nicht umgehend Masken erstellt, sondern folgende Vorgehensweise entwickelt:

Durch die hohe räumliche Auflösung der HRSC-AX -Daten und der pixelorientierten Arbeitsweise werden bei der Trennung der Informationen selbst kleinste Flächen identifiziert. Diese stellen allerdings nicht unbedingt Objekte der gewünschten Zielklassen dar und sind daher für die Weiterverarbeitung nicht erwünscht. Im Pilotprojekt wurden im Anschluss an die gesamte Klassifikation Mindestflächengrößen der unterschiedlichen Biotoptypen definiert. Es hat sich herausgestellt, dass eine Definition von Mindestflächengrößen vor der Trennung der Informationsschichten ebenfalls sehr sinnvoll ist.

Als optimale Methode stellte sich das im Folgenden beschriebene Bearbeitungsverfahren heraus. Zunächst wurde ein ‚FOCAL MAJORITY-Filter‘ (3X3) zur Eliminierung von Einzelpixeln auf das Separierungsergebnis angewendet. Bei diesem Verfahren wird innerhalb der gleitenden Filtermatrix dem mittleren Pixel die häufigste Ausprägung seiner acht umgebenden Pixel zugewiesen. Dabei werden allerdings nicht nur Einzelpixel eliminiert, sondern z.T. auch lineare Strukturen und schmale Flächen. Durch die hohe Auflösung der verwendeten Daten ist die Glättung der Strukturen aber sehr gering und in einigen Fällen sogar erwünscht.

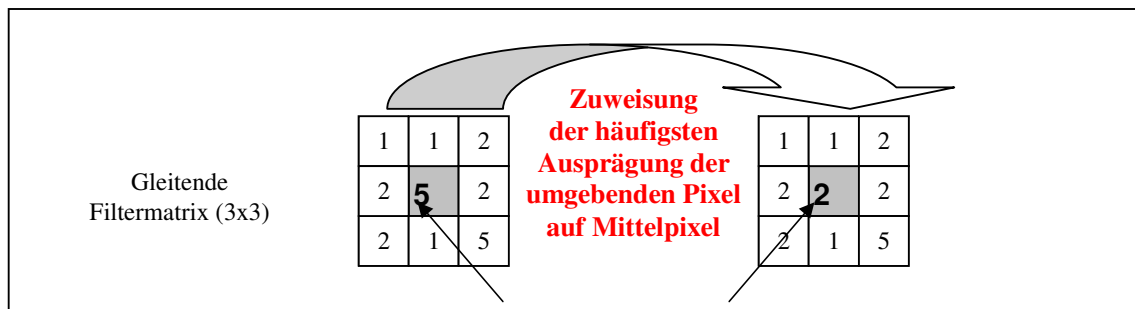


Abbildung 2: Funktionalität des Focal Majority-Filters

Anschließend wurden alle aneinander angrenzenden Pixel des gleichen Wertes zusammengefasst und die Größe der entstandenen Flächen berechnet. In Abhängigkeit der Objektklassen konnten Flächen, die nicht der erfordernten Mindestgröße (70 m²) entsprachen, eliminiert bzw. mit Hilfe eines in der Funktion implementierten Filters aufgefüllt werden.

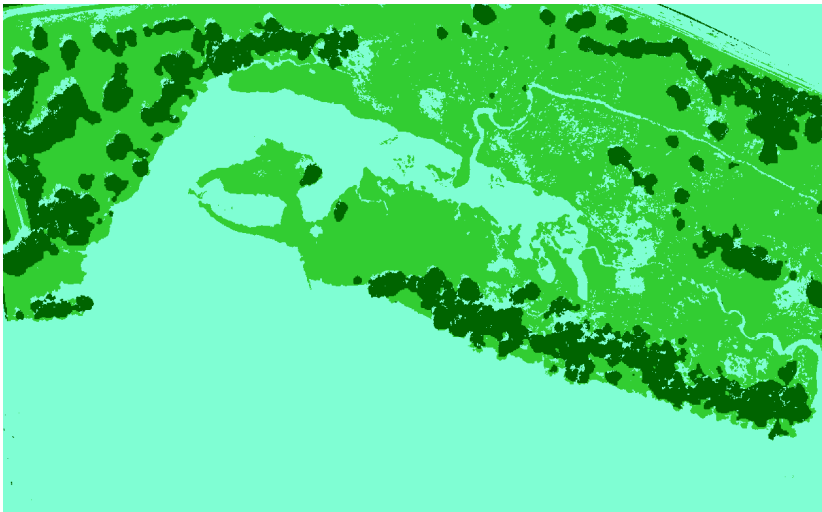
Als Ergebnis dieser Berechnungen entstehen Masken der Objektklassen. Mit Hilfe der berechneten Masken wurde aus dem in Kapitel 4.1.4 erstellten Mehrkanalbildern die Informationen Offenboden, niedere Vegetation und hohe Vegetation extrahiert (s. Abbildung 4) und anschließend separat weiterverarbeitet. Wasser und Schatten wurden nicht weiter differenziert.

Die Funktionen der Level 1 und 2 konnten weitestgehend in ein Funktionsmodell im ERDAS Spatial Modeler erstellt werden.

Abbildung 3: Darstellung der Ergebnisse der Separierung der Informationen
(am Beispiel Heuckenlock)



RGB Darstellung



Ergebnis NDVI u. Höhe



Ergebnis Mindest-
flächenberechnung




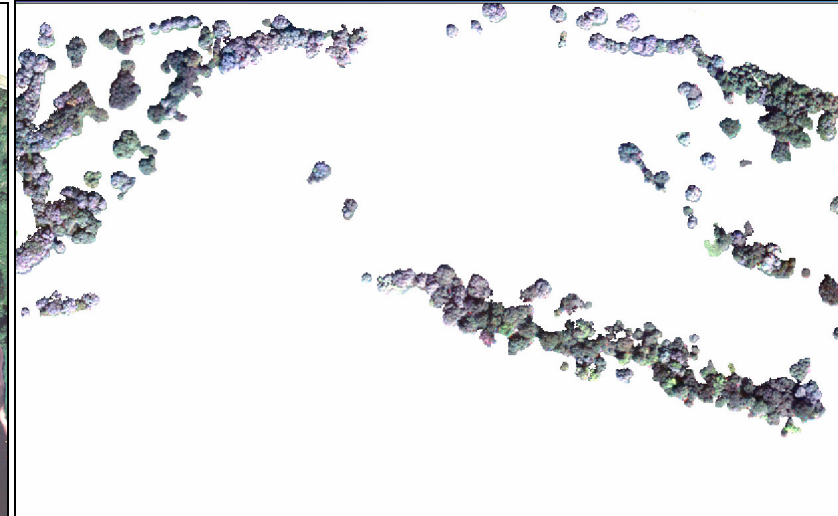
Wasser, Schatten, Offenboden	
Niedere Vegetation	
Hohe Vegetation	

Abbildung 4: Separieren der Informationen aus einem Mehrkanalbild mit Hilfe der abgeleiteten Masken (Heuckenlock)



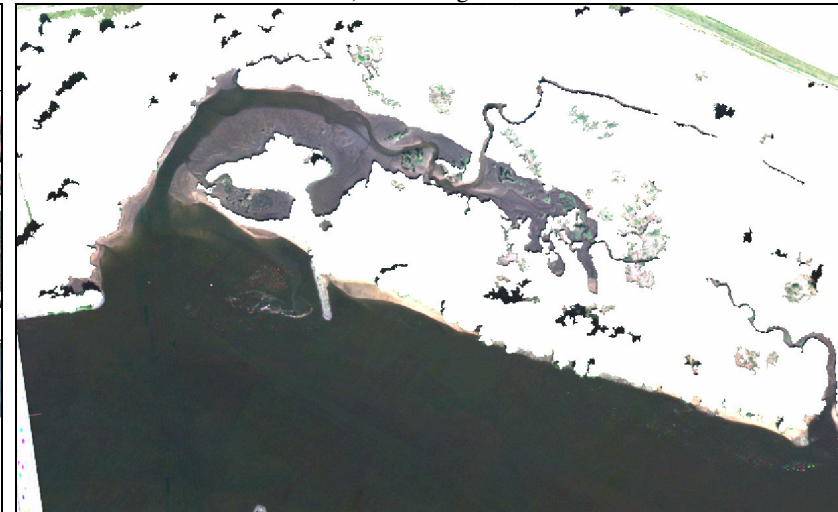
a) RGB-Darstellung



b) Hohe Vegetation



c) Niedere Vegetation



d) Geringe Vegetation (frische Mahd, Gülle)/Offenboden

4.3. Bildbearbeitung/Klassifikation – Level 3

Nach der Separierung der Informationen muss eine weitere Unterteilung der Klassen durch eine „überwachte Klassifikation“ vorgenommen werden.

Bei der überwachten Klassifikation legt der Operateur Trainingsgebiete fest, deren Objekte er eindeutig identifizieren kann. Die Bildverarbeitungssoftware berechnet dann für die jeweiligen Objekte typische Signaturen. Anschließend erfolgt eine überwachte Klassifikation des gesamten Bildes in die vordefinierten Objektklassen. Für eine exakte Definition der Trainingsgebiete ist ein ausführlicher Bodenabgleich erforderlich. Die Untersuchungen wurden wie in den vorherigen Projekten mit Hilfe der überwachten ‚Maximum-Likelihood-Klassifikation‘ berechnet.

Für die Auswahl von Trainingsgebieten standen als Referenzmaterial die „Null-Kartierung“ aus dem Jahre 2000 sowie die im Rahmen der UVS (PÖUN, 1997a) von Herrn Dr. H. Kurz (Büro für Biologische Bestandsaufnahmen, Hamburg) durchgeführte Biotoptypenkartierung (PÖUN, 1997b) zur Verfügung.

Die räumlichen Abgrenzungen der Trainingsgebiete wurden mit Hilfe der ‚SEED-Funktion‘ ermittelt. Mit dieser Funktion ist es möglich, repräsentative Flächen mit gleichen oder ähnlichen Pixelwerten zu selektieren, wobei die maximale Abweichung (ausgedrückt in der Euklidischen Distanz zu einem Referenzpixel) wählbar ist. Für die Erstellung von Trainingsgebieten wurden unterschiedliche Euklidische Distanzen in Abhängigkeit der verschiedenen Biotoptypen und der Untersuchungsgebiete verwendet.

Die Auswahl der charakteristischen Flächen gestaltete sich für die durch Wolken bedeckten Bereiche schwierig. Dadurch mussten für Teilbereiche separate Trainingsgebiete in erheblichem Maße zusätzlich definiert werden. Eine Zusammenfassung dieser Unterklassen wieder zu einer Biotoptypenklasse erfolgte im Anschluss an die Klassifikation. In diesen Gebieten kam einer manuellen Nachkontrolle und ggf. Anpassung bzw. Reklassifizierung besondere Bedeutung zu (vgl. Kapitel 4.4.6).

4.4. GIS-gestützte Nachbearbeitung der Klassifikationsergebnisse – Level 4

4.4.1. Zusammenführung der bisherigen Ergebnisse

Die bisherigen Arbeitsschritte führten zur Bildung von jeweils drei Einzelbildern pro Szene. Es wurde ein Funktionsmodell im ERDAS Spatial Modeler erstellt, mit dessen Hilfe die Zusammenführung der verschiedenen Informationen halbautomatisiert erfolgen konnte. Das Funktionsmodell beinhaltet darüber hinaus die Funktionen des Kapitels 0.

4.4.2. Auffüllen der Schattenbereiche

Das Auffüllen der Schattenbereiche konnte wie in den bisherigen Projekten unter Verwendung der Majority-Filterung erfolgen. Auf die Einbindung der Höheninformation konnte, aufgrund der Zuweisung der „hohen Schattenbereiche“ zum Baumbestand vor der Klassifikation, verzichtet werden. Hiermit konnten wiederum sehr gute Ergebnisse erzielt werden, die die realen Grenzverläufe sehr gut wiedergeben (vgl. Abbildung 5).

4.4.3. Zuweisung von Mindestflächengrößen und Filterung der Ergebnisse

In den Projekten hat sich die Verwendung von Mindestflächengrößen für die einzelnen Biotoptypen als unabdingbar erwiesen. Die genaue Vorgehensweise wurde jeweils optimiert und wird im Folgenden erläutert.

Für das Klassifikationsergebnis der niedrigwüchsigen Vegetation erfolgte zunächst eine 3x3-Majority-Filterung zur Eliminierung von Einzelpixeln wie in Kapitel 4.2.2 beschrieben. Anschließend wurden alle aneinander angrenzenden Pixel des gleichen Wertes zusammengefasst und die Größe der entstandenen Flächen berechnet. In Abhängigkeit der Biotoptypenklassen wurden zunächst Flächen, die nicht der Mindestgröße von 40 m² entsprachen, eliminiert bzw. mit Hilfe von implementierten Filtern aufgefüllt. Anschließend wurden die Biotoptypen, die diesem Kriterium unterliegen (Röhrichte), ausmaskiert. Für die restlichen Biotoptypen wurden zunächst wiederum die einzelnen Flächen berechnet und dann einer weiteren Mindestgrößenbedingung von 70 m² unterzogen. In Gebieten ohne kleinräumige Strukturelemente wurden diese Mindestgrößen jeweils um 30 m² erhöht.

Die erzielten Klassifikationsergebnisse der Offenbodenbereiche wurden ebenfalls zunächst mit einer 3x3-Majority-Filterung bearbeitet. Als Mindestgröße der Biotoptypen dieser Informationsschicht wurde eine Mindestfläche von 70 m² definiert. Spezielle großflächige

Biotoptypen wie z.B. Acker mussten dem Kriterium größer als 2000 m² unterliegen. Hierfür mussten zum einen die Filter zum Auffüllen der Flächen, die nicht der Mindestgröße entsprachen, vergrößert werden als auch zum anderen ein stark erhöhter Rechenaufwand einkalkuliert werden. Die Funktionsmodelle im ERDAS Spatial Modeler wurden dementsprechend erweitert und modifiziert.

4.4.4. Definition von Nachbarschaft

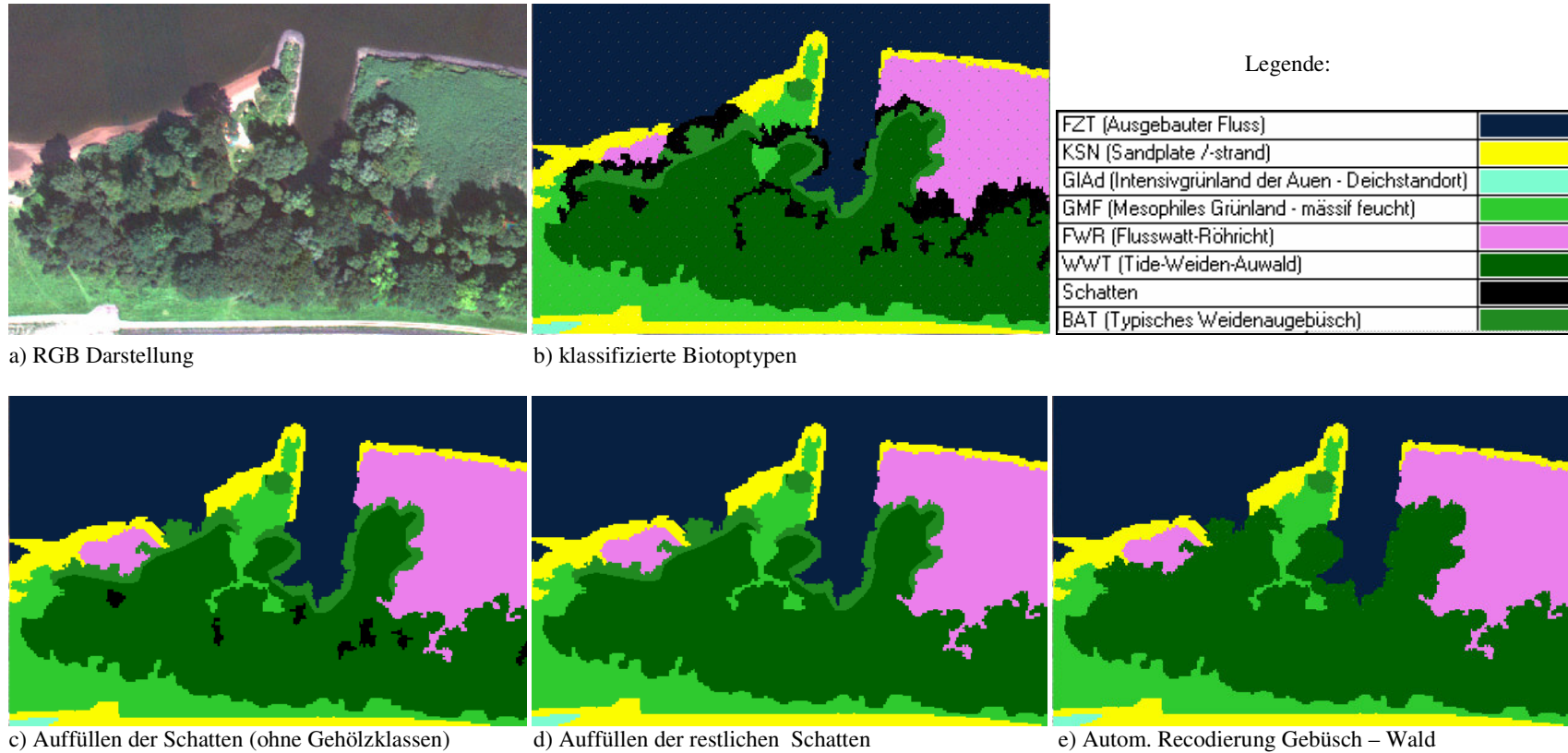
Als besonders problematisch hatten sich im Pilotprojekt die Randbereiche von Baumbeständen bzw. Einzelbäume herausgestellt. Diese wurden aufgrund des definierten Höhenschwellwertes von 8 m dem Informationsbestand der niederen Vegetation und anschließend zu einem Biotoptyp wie z.B. BAT (Typisches Weiden-Auengebüsch) klassifiziert. Um eine homogene Baum- bzw. Waldfläche zu erhalten, wurden für die Auswertung der HRSC-AX-Daten für die Außenelbe (vgl. Ehlers et al., 2002b) neue Funktionsabläufe im ERDAS Spatial Modeler erstellt, die folgendermaßen beschrieben werden können:

Die Pixel, die als Gebüsche klassifiziert wurden, sind zunächst zu einer Fläche zusammengerechnet worden und anschließend um einen Pixel vergrößert worden (Pufferung). In einem nächsten Arbeitsschritt wurde zur Bestimmung der Nachbarschaft zum „Einzelbaum“ bzw. „Waldbestand“ die gepufferten Gebüschbestände mit den Gesamtklassifikationsergebnis überlagert. Liegt eine Überlagerung der gepufferten Gebüschbestände mit hohen Vegetationsbeständen wie z.B. dem Biotoptyp „Typischer Weiden-Auwald (WWT)“ vor, werden die Gebüschbestände dem jeweiligen Biotoptyp der hohen Vegetation zugewiesen. Ein Beispiel für diesen Vorgang ist in Abbildung 5 dargestellt.

4.4.5. Vektorisierung

Die Datengrundlage (vgl. Kapitel 3) bilden Rasterdaten. Die bisherigen Arbeitsschritte wurden im Rasterdatenverarbeitungsprogramm vorgenommen. Der Auftraggeber wünscht als Ergebnisdatenformat jedoch Vektordaten, so dass eine Raster-Vektor-Konvertierung vorgenommen werden musste. Dieser Arbeitsschritt wurde mit dem Programm ArcView 3.2[®] vorgenommen.

Abbildung 5: Beispielhafte Darstellung der Verfahren zum Auffüllen der Schattenbereiche und zur Rekodierung von Flächen aufgrund der Nachbarschaft (Heuckenlock)



4.4.6. Manuelle Reklassifikation der Ergebnisse

Vor allem aufgrund der in Kapitel 3 erläuterten Ausgangsfaktoren (Bewölkung) sind in einigen Bereichen Fehlklassifikationen aufgetreten.

Für die Gebiete, die bei der Datenaufnahme durch Wolken bedeckt waren (insbesondere in den Bereichen Rhinplate, Pagensand und Haseldorf) wurde die automatisierte Klassifikation durch visuelle Interpretation mittels „On-Screen-Digitalisierung“ ergänzt bzw. ersetzt. Hierzu wurden zunächst soweit wie möglich die aktuellen Daten der Befliegung 2002 herangezogen, da aufgrund der Bauweise der Kamera Blickwinkelunterschiede zwischen den einzelnen Kanälen bestehen. Für Teilgebiete konnten so aus Einzelkanälen noch Informationen gewonnen werden, die dem Gesamtbild aufgrund der Bewölkung nicht mehr zu entnehmen waren. Für die Insel Pagensand konnte zudem auf die Bilddaten des sog. „Stützungsfluges 2001“ zugegriffen werden. Lediglich für kleinere Bereiche der Rhinplate und an der Haseldorfer Binnenelbe wurden schließlich die Ergebnisse der „Null-Kartierung aus dem Jahr 2000 herangezogen.

Weiterhin kann die Vektorisierung der Ergebnisse (vgl. Kapitel 0) zu Datenfehlern führen. Zur Sicherstellung der Ergebnisgüte wurden die Klassifikationsergebnisse aufwändigen manuellen Nachkontrollen und -bearbeitungen unterzogen.

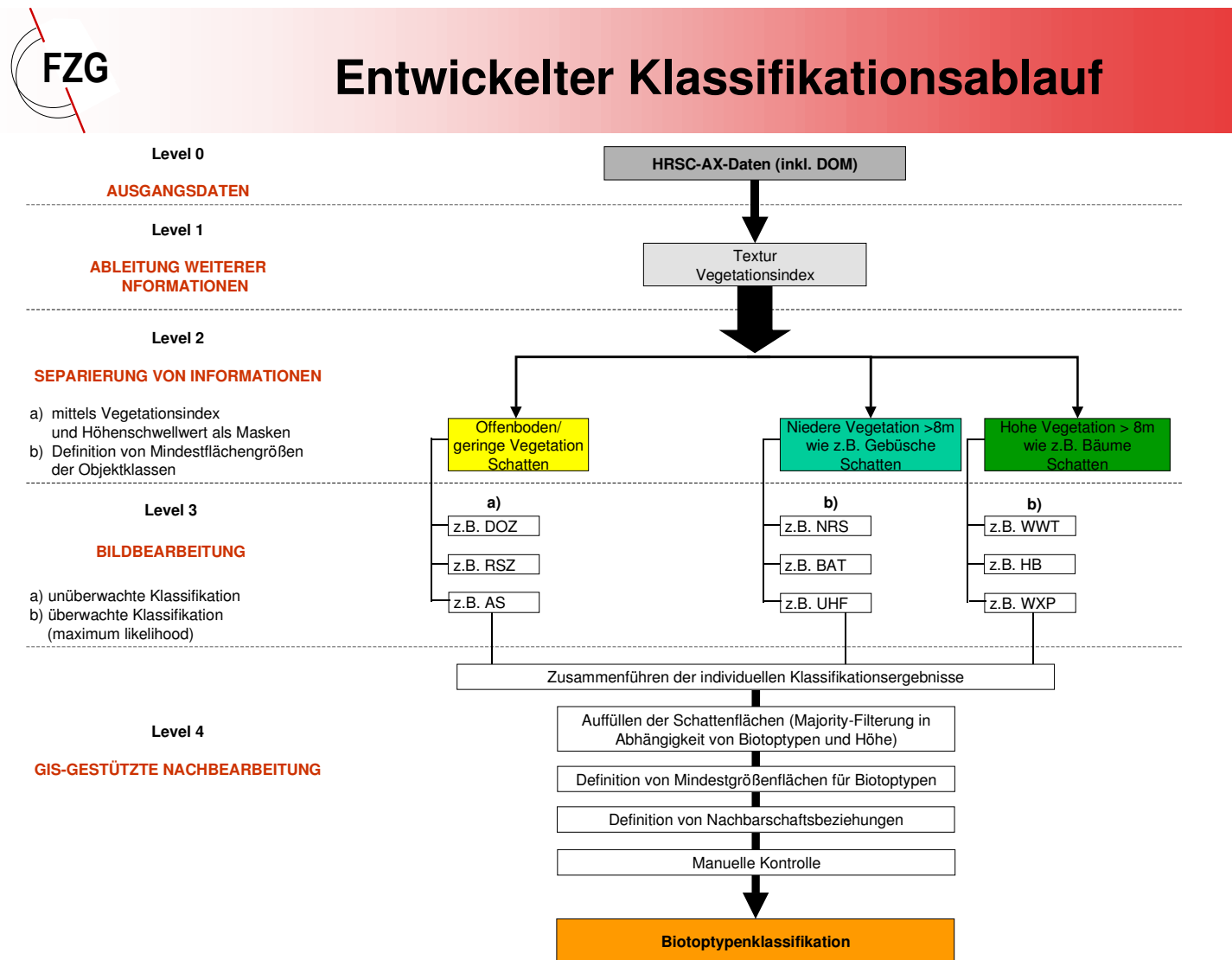
Hierzu wurden die vektorisierten Klassifikationsergebnisse mit den Bilddaten überlagert und klassenweise gesichtet und auf korrekte Abgrenzung und Attributierung hin überprüft.

Ferner wurden in diesem Schritt unklassifiziert gebliebene Segmente attribuiert und wenn möglich und sinnvoll, mit Zusatzattributen bzw. Nebencodes versehen. Nötig war in diesem Schritt auch die Verfeinerung der Attributierung von Klassen, die zunächst nur als eine Klasse identifiziert werden konnten. Dies trifft insbesondere auf Wasserflächen und Gebüschbestände zu, die i.d.R. nur allgemein als „Wasser“ bzw. „Gebüsch allg.“ klassifiziert werden konnten und denen bei der Nachbearbeitung der entsprechende Biotoptyp als Attributwert zugeordnet wurde. Bei der verfeinerten Attributierung wurde in den meisten Fällen der Null-Kartierung (vgl. Ehlers et al, 2000a) gefolgt. Teilweise wurden auch Kleinstrukturen nachträglich eingefügt, die mit den automatisierten Algorithmen vorher nicht zu erfassen waren. Dies betrifft insbesondere Gräben mit stärkerem Bewuchs von z. B. Flutrasen-Vegetation in einer Umgebung von Grünlandflächen. Aufgrund ihrer spektralen Ähnlichkeiten konnten diese Strukturen vorher nicht mit Klassifikationsmethoden getrennt werden, für das menschliche Auge sind sie jedoch als lineare Strukturen deutlich sichtbar.

Die kontrollierten und reklassifizierten Ergebnisse wurden schließlich zusammengeführt und mit GIS-Operationen nachbehandelt; beispielsweise wurden aneinander angrenzende Polygone gleicher Attributierung mittels eines sog. „Dissolve“ zusammengefasst. Eine Generalisierung des erzielten Ergebnisses fand nicht statt.

Der Gesamtablauf der Biotoptypenklassifikation wird in Abbildung 6 schematisch dargestellt.

Abbildung 6: Schematische Darstellung des Klassifikationsablaufes



5. Bewertung der Ergebnisse / Genauigkeitsabschätzung

Die geometrische und radiometrische Qualität der Ausgangsdaten hat sich deutlich durch die Modifikation am Kameramodell HRSC-AX verbessert. Dementsprechend hat die Qualität der abgegebenen Auswertung die der „Null-Kartierung“ nicht nur erreicht, sondern sogar übertroffen. Eine Qualitätssteigerung kann allerdings für die Gebiete, die bei der Datenaufnahme durch Wolken bedeckt waren (insbesondere Rhinplate, Pagensand und Haseldorf) nur eingeschränkt gelten (vgl. Kapitel 4.4.6).

Wiederum deutliche Fortschritte gegenüber den Vorgänger-Projekten wurden zum Einen durch die weitere Automatisierung des Klassifikationsverfahrens und zum Anderen durch die Verbesserung der GIS-gestützten Nachbearbeitung erreicht. Für die manuelle Nachkontrolle wurde in der klassen- und abschnittweisen Sichtung und ggf. Korrektur ein Modus gefunden, der für eine effiziente Bearbeitung bei Sicherstellung der Qualität sorgt.

Für das Gebiet Heuckenlock wurde zur Überprüfung der Qualität Genauigkeitsabschätzungen mittels im verwendeten Programm implementierter Standardverfahren vorgenommen. Eine Möglichkeit zur Beurteilung der Güte des Klassifikationsergebnisses besteht darin, die Anzahl der richtig klassifizierten Pixel durch die Gesamtzahl der klassifizierten Pixel zu dividieren (**Gesamtklassifikationsgenauigkeit**). Ein weiteres Qualitätsmaß stellt der **Kappa-Koeffizient** dar. Der Kappa-Koeffizient (K) gibt die Stärke des Zusammenhangs zwischen der beobachteten Übereinstimmung in Beziehung zur zufälligen Übereinstimmung wieder; er berechnet sich wie folgt:

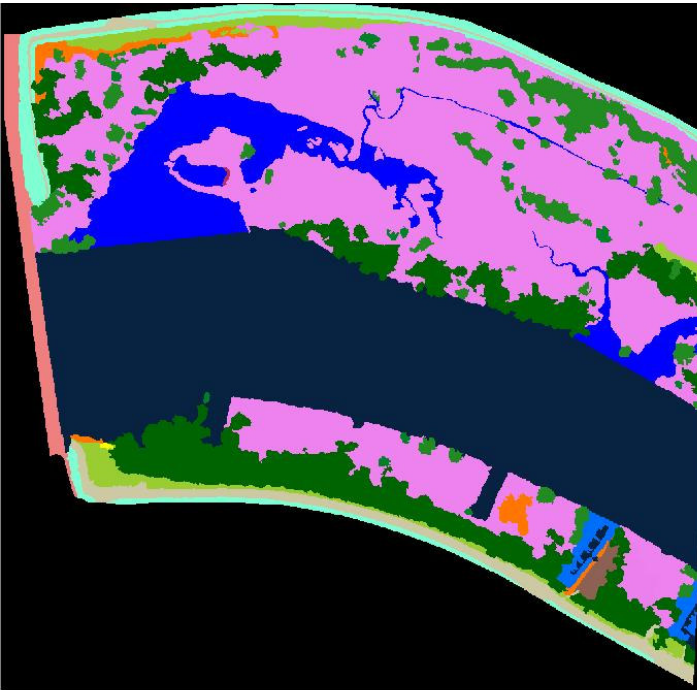
$$K = \frac{\text{beobachtete} - \text{zufällige Übereinstimmung}}{1 - \text{zufällige Übereinstimmung}} \quad (\text{vgl. CAMPELL, 1996, S. 389}).$$

Bei diesen Verfahren wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass Fehler ausschließlich bei den klassifizierten Daten vorliegen. Tatsächlich können jedoch auch andere Fehlerquellen vorliegen, wie z.B. die fehlerhafte Lagebestimmung der Referenzdaten. Als Referenz für die Ergebnisse dieses Projektes wurden die digitalen Daten der „Null-Kartierung“ angewendet.

In dem gewählten Ausschnitt sind im Jahr 2000 18 Biotoptypen und im Jahr 2002 22 Biotoptypen klassifiziert worden (vgl. Abbildung 7). Die Auswahl der Kontrollpunkte wurde durch **300 zufällig ausgewählte Punkte** im gesamten Ausschnitt abgeleitet. Hierbei liegt eine Gesamtklassifikationsgenauigkeit von 84% vor und ein Kappa-Koeffizient von 0.80 für diesen Ausschnitt vor.

Mit der abgegebenen Auswertung steht demnach wiederum eine optimale Datenbasis für ein längerfristig ausgerichtetes Monitoring zur Verfügung. Die Daten der „Null-Kartierung“ aus dem Jahr 2000 und die Ergebnisse dieses Projektes für die Kartierung 2002 sind hervorragend miteinander zu vergleichen und auch minimale Veränderungen können identifiziert werden.

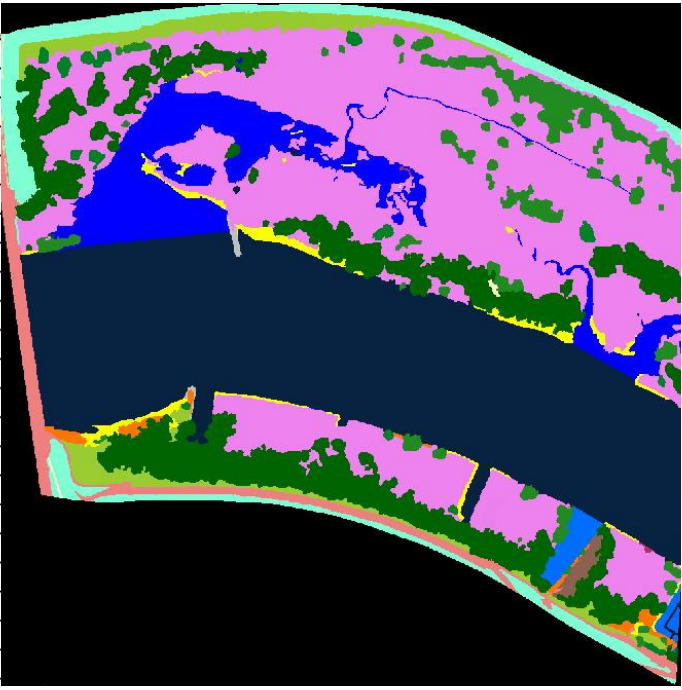
Abbildung 7: Genauigkeitsabschätzung „Heuckenlock“



Heuckenlock Ergebnis2000 – 18 Biotoptypen

Class Names	Color
BG	
FZT	
GIA	
UHF	
BAT	
FWR	
FZH	
GMF	
HB	
KPS	
KSN	
NPF	
NRG	
OVH	
OVS	
OVW	
PSZ	
UHM	
WWT	
DOZ	
GRR	
HX	
KX	

Legende



Heuckenlock Ergebnis2002 – 22 Biotoptypen

Literatur

- ALBERTZ, J. (2001): Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft und Satellitenbildern. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Darmstadt.
- BFG ‚BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE‘ (2000): Computergestützte Klassifizierung von Biototypen auf Grundlage digitaler hochauflösender multispektraler Scannerdaten (HRSC-A). Unveröffentlichter Projektabschlussbericht.
- CAMPELL, J. (1996): Introduction to remote sensing. 2. Aufl. New York.
- DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (DLR) (o. D.): High Resolution Stereo Camera - Airborne (HRSC-A, -AX, -AXW). The First Very High Resolution Digital Multispectral Stereo Camera for Airborne Remote Sensing of the Earth. 2 S. Berlin.
- DRACHENFELS, O. v. (1994): Kartierschlüssel für Biotypen in Niedersachsen unter besonderer Berücksichtigung der nach § 28 a und § 28 b NNatG geschützten Biotope, Stand September 1994. – Naturschutz Landschaftspfl. Niedersachs. Heft A/4: 1-192, Hannover.
- EHLERS, M., M. MÖLLER, R. JANOWSKY & M. GÄHLER (2000): Entwicklung einer Methode zur automatisierten Biototypenerfassung auf der Grundlage von HRSC-A-Scannerdaten. Unveröffentlichter Projektabschlussbericht.
- EHLERS, M., R. JANOWSKY & M. GÄHLER (2002a): Anwendung einer Methode zur automatisierten Biototypenerfassung auf der Grundlage einer HRSC-AX-Befliegung im Beweissicherungsverfahren zum 14,5m-Ausbau von Unter- und Außenelbe. Unveröffentlichter Abschlussbericht.
- EHLERS, M., R. JANOWSKY & M. GÄHLER (2002b): Auswertung von höchstaflösenden multispektralen Scannerdaten (HRSC-AX) der Unter- / Außenelbe zwischen Glückstadt und Cuxhaven zur lagegenauen Biotypenkartierung von großflächigen Kompensationsmaßnahmen. Unveröffentlichter Abschlussbericht.
- EHLERS, M., R. JANOWSKY & M. GÄHLER (2003): Computergestützte Klassifizierung und Kartierung von Biotypen auf der Grundlage digitaler hochauflösender multispektraler Scannerdaten (Befliegung mit der HRSC – AX). Unveröffentlichter Zwischenbericht.
- ERDAS (1997): ERDAS Field Guide Fifth Edition, revised and expanded, Atlanta/Georgia, 671 pp.
- GÄHLER, M. (2000): Gis-basierte Biotypenklassifikation auf Grundlage von multispektralen HRSC-A-Scannerdaten - Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten am Beispiel der Elbinsel Pagensand. Diplomarbeit, Universität Osnabrück.
- JANOWSKY, R. (2001): Überprüfung der Einsatzmöglichkeit der HRSC-Methodik an sehr reliefreichen Bundeswasserstraßenabschnitten - Automatisierte Biotypenklassifizierung auf Grundlage einer HRSC-Befliegung. – Unveröffentlichter Projektbericht im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde. Vechta.

- PÖUN ,PLANUNGSGRUPPE ÖKOLOGIE + UMWELT NORD‘ (1997a): Umweltverträglichkeitsstudie zur Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt, Teil 1: Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU). Untersuchung im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg und der Freien und Hansestadt Hamburg, Wirtschaftsbehörde, Amt Strom- und Hafenbau, Hamburg.
- PÖUN ,PLANUNGSGRUPPE ÖKOLOGIE + UMWELT NORD‘ (1997b): Umweltverträglichkeitsuntersuchung zur Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt. - Materialband VI: Fachgutachten Tiere und Pflanzen, terrestrische Lebensgemeinschaften. Erstellt durch das Büro für Biologische Bestandsaufnahmen, Hamburg; i. A. d. Planungsgruppe Ökologie + Umwelt Nord, Hamburg, für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg und der Freien und Hansestadt Hamburg, Wirtschaftsbehörde, Amt Strom- und Hafenbau, Hamburg.
- TERRAIMAGING (2002): Befliegung der Elbe mit der HRSC-AX. Unveröffentlichter Befliegsreport. Berlin.

Anhang

- Legende zu den erfassten Biotoptypen
- Die Ergebnisse der Biotoptypenklassifikation werden digital als GIS-Daten ausgeliefert (CD als Anhang des Berichtes).
- Die digitalen Bilddaten wurden auf Basis des Blattschnittes der Deutschen Grundkarte im Maßstab 1:5.000 ausmaskiert und zur Verfügung gestellt. (Cds liegen der BfG vor).

Tabelle 3: Legende zu den erfassten Biotoptypen (nach DRACHENFELS 1994):

OBERGRUPPEHaupteinheitUntereinheitZeichen**WÄLDER**

Hartholzauswald	Hartholzauswald im Überflutungsbereich	WHA
Weiden-Auwald (Weichholzaue)	Sumpfiger Weiden-Auwald	WWS
	Tide-Weiden-Auwald	WWT
Erlenwald entwässerter Standorte	Erlenwald entwässerter Standorte	WU
Sonstiger Pionierwald	Birken- und Zitterpappel-Pionierwald	WPB
Sonstiger Laubforst	Laubforst aus einheimischen Arten	WXH
	Hybridpappelforst	WXP
Sonstiger Nadelforst	Fichtenforst	WZF
	Kiefernforst	WZK
	Lärchenforst	WZL
Nadelwald-Jungbestand	Nadelwald-Jungbestand	WJN
Zusatzmerkmale für Wälder:		
Schlechte / verarmte / stark gestörte Ausprägung		-
Lichter Bestand		

GEBÜSCHE & KLEINGEHÖLZE

Weidengebüsch der Auen und Ufer	Typisches Weiden-Auengebüsch	BAT
	Sonstiges Weiden-Ufergebüsch	BAZ
Moor- und Sumpfgebüsch	Weiden-Sumpfgebüsch	BNR
	nährstoffreicher Standorte	
Ruderalgebüsch / Sonstiges Gebüsch	Sonstiges Sukzessionsgebüsch	BRS
	Standortfremdes Gebüsch	BRX
Feldhecke	Strauchhecke	HFS
	Strauch-Baumhecke	HFM
	Baumhecke	HFB
Naturnahes Feldgehölz	Naturnahes Feldgehölz	HN
Standortfremdes Feldgehölz	Standortfremdes Feldgehölz	HX
Einzelbaum/Baumbestand	Einzelbaum/Baumbestand	HB
Einzelstrauch	Einzelstrauch	BE
Junge Gehölzpflanzung	Standortgerechte Gehölzpflanzung	HPG
Zusatzmerkmale für Gebüsch u. Kleingehölze:		
Schlechte / verarmte / stark gestörte Ausprägung		-
Bestand mit erheblichen Lücken		
Hybridpappel		ph
Weide (<i>Salix</i> sp.)		we

MEER & MEERESKÜSTEN

Brackwasserwatt der Ästuar	Brackwasserwatt ohne Vegetation höherer Pflanzen Röhricht des Brackwasserwatts	KBO KBR
Flusswatt	Flusswatt ohne Vegetation höherer Pflanzen Flußwatt-Röhricht	FWO FWR
Marschpriel	Süßwasser-Marschpriel	KPS
Sandplate/-strand	Naturnaher Sandstrand	KSN
Küstenschutzbauwerk	Küstenschutzbauwerk	KX
	Zusatzmerkmale für Meer u. Meeresküsten: Schlechte / verarmte / stark gestörte Ausprägung - Brache b Bestand mit <i>Bolboschoenus maritimus</i> bm Deich d Initialbestand i Verbuschung / Gehölzaufkommen v	

BINNENGEWÄSSER

Naturnaher Fluß	Naturnaher Marschfluß	FFM
Ausgebauter Fluss	Mäßig ausgebauter Flussunterlauf mit Tideeinfluss Völlig ausgebauter Fluß Hafenbecken an Flüssen	FZT FZV FZH
Graben	Graben Marschgraben	FG FGM
Naturnahes nährstoffreiches Kleingewässer	Kleines naturnahes Altwasser Sonstiges naturnahes nährstoffreiches Kleingewässer natürlicher Entstehung Naturnahes nährstoffreiches Abbaugewässer Sonstiges naturnahes nährstoffreiches Kleingewässer	SEF SEN SEA SEZ
Offene Wasserfläche größerer naturnaher nährstoffreicher Stillgewässer	Naturnaher nährstoffreicher Baggersee Sonstiges naturnahes nährstoffreiches Stillgewässer	SRA SRZ
Verlandungsbereich nährstoffreicher Stillgewässer	Verlandungsbereich nährstoffreicher Stillgewässer mit Dominanz von Schwimmpflanzen Verlandungsbereich nährstoffreicher Stillgewässer mit Röhricht	VES VER
Naturfernes Stillgewässer	Naturferner Fischteich Naturfernes Stillgewässer natürlicher Entstehung Sonstiges naturfernes Stillgewässer	SXF SXN SXZ

GEHÖLZFREIE BIOTOPE DER SÜMPFE, NIEDERMOORE & UFER

Seggen-, Binsen und Stauden-Sumpf	Seggenried nährstoffreicher Standorte	NSG
Landröhricht	Landröhricht	NR
	Schilf-Landröhricht	NRS
	Rohrglanzgras-Landröhricht	NRG
	Wasserschwaden-Landröhricht	NRW
	Rohrkolben-Landröhricht	NRR
Pioniervegetation (wechsel-) nasser Standorte / vegetationsarmer Uferbereich	Flussuferflur	NPF
Uferstaudenflur	Uferstaudenflur der Stromtäler	NUT
<u>Zusatzmerkmale für gehölzfreie Biotope der Sümpfe, Niedermoore u. Ufer:</u>		
Schlechte / verarmte / stark gestörte Ausprägung -		
Verbuschung / Gehölzaufkommen v		

FELS-, GESTEINS- & OFFENBODENBIOTOPE

Unbefestigter Weg	Sandweg	DWS
Sonstiger Offenbodenbereich	Sonstiger Offenbodenbereich	DOZ
<u>Zusatzmerkmale für Fels-, Gesteins- & Offenbodenbiotope:</u>		
Grasige Ausprägung g		

HEIDEN & MAGERRASEN

		RSS
Sand-Magerrasen	Sonstiger Sand-Magerrasen	RSZ
<u>Zusatzmerkmale für Heiden u. Magerrasen:</u>		
Verbuschung / Gehölzaufkommen v		

GRÜNLAND

Mesophiles Grünland	Mesophiles Grünland	GM
	Mesophiles Grünland mäßig feuchter Standorte	GMF
	Mesophiles Marschengrünland mit Salzeinfluss	GMM
	Sonstiges mesophiles Grünland	GMZ
Seggen-, binsen- oder hochstaudenreiche Nasswiese	Nährstoffreiche Naßwiese	GNR
	Sonstige nährstoffreiche Naßwiese	GNZ
Sonstiges artenreiches Feucht- und Nassgrünland	Sumpfdotterblumen-Wiese (seggen-, binsen- und hochstaudenarme Ausprägung)	GFS
	Flutrasen	GFF
Artenarmes Intensivgrünland	Intensivgrünland trockenerer Standorte	GIT
	Intensivgrünland der Marschen	GIM
	Intensivgrünland der Auen	GIA
	Sonstiges feuchtes Intensivgrünland	GIF
Grünland-Einsaat	Grünland-Einsaat	GA

Sonstige Weidefläche	Sonstige Weidefläche	GW
	<u>Zusatzmerkmale für Grünland:</u>	
	Schlechte / verarmte / stark gestörte Ausprägung	-
	Brache	b
	Deich	d
	Beetrelief (mit Gruppen)	e
	Mahd	m
	Verbuschung / Gehölzaufkommen	v
	Beweidung	w

ACKER- UND GARTENBAU-BIOTOPE

Acker	Sandacker	AS
Obstplantage	Obstbaum-Plantage	EOB
	<u>Zusatzmerkmale für Acker- und Gartenbau-Biotop:</u>	
	Brache	b
	wiesenartige Ackerbrache	w

RUDERALFLUREN

Ruderalflur	Ruderalflur frischer bis feuchter Standorte	URF
	Ruderalflur trockenwarmer Standorte	URT
Halbruderales Gras- und Staudenflur	Halbruderales Gras- und Staudenflur feuchter Standorte	UHF
	Halbruderales Gras- und Staudenflur mittlerer Standorte	UHM
	Halbruderales Gras- und Staudenflur trockener Standorte	UHT
	<u>Zusatzmerkmale für Ruderalfluren:</u>	
	Schlechte / verarmte / stark gestörte Ausprägung	-
	Bestand mit erheblichen Lücken	l
	Verbuschung / Gehölzaufkommen	v

GRÜNLANDS DER SIEDLUNGSBEREICHE

Scherrasen	Artenreicher Scherrasen	GRR
	Artenarmer Scherrasen	GRA
Ziergebüsch/-hecke	Ziergebüsch	BZ
	Ziergebüsch aus überwiegend einheimischen Gehölzarten	BZE
	Ziergebüsch aus überwiegend nicht heimischen Gehölzarten	BZN
Gehölz des Siedlungsbereichs	Gehölz des Siedlungsbereichs	HS
	Siedlungsgehölz aus überwiegend einheimischen Gehölzarten	HSE
Hausgarten	Hausgarten	PH
	Obst- und Gemüsegarten	PHO
	Hausgarten mit Großbäumen	PHG
	Neuzeitlicher Ziergarten	PHZ
Kleingartenanlage	Strukturreiche Kleingartenanlage	PKR

Sport-/Spiel-/Erholungsanlage	Sportplatz	PSP
	Campingplatz	PSC
	Sonstige Sport-, Spiel- und Freizeitanlage	PSZ
<u>Zusatzmerkmale für Grünanlagen der Siedlungsbereiche:</u> Schlechte / verarmte / stark gestörte Ausprägung -		

GEBÄUDE-, VERKEHRS- UND INDUSTRIEFLÄCHEN

Befestigte Fläche	Vollständig versiegelte Fläche	TFV
Einzel- und Reihenhausbauung	Einzel- und Reihenhausbauung	OE
	Locker bebautes Einzelhausgebiet	OEL
	Ferienhausgebiet	OEF
Dorfgebiet/landwirtschaftliches Gebäude	Ländlich geprägtes Dorfgebiet	ODL
Sonstiger Gebäudekomplex	Sonstiger Gebäudekomplex	ONZ
Verkehrsfläche	Straße	OVS
	Parkplatz	OVP
	Sonstiger Platz	OVM
	Befestigter Weg	OVW
	Bahnanlage	OVB
	Flugplatz	OVF
	Hafen- und Schleusenanlage	OVH
Industrie- und Gewerbefläche	Gewerbegebiet	OGG
Ver- und Entsorgungsanlage	Kläranlage	OSK
	Kleiner Müll- und Schuttplatz	OSM
	Sonstige Ver- und Entsorgungsanlage	OSZ
Baustelle	Baustelle	OX
<u>Zusatzmerkmale für Gebäude-, Verkehrs- und Industrieflächen:</u> Deichstandort d		
Nicht bestimmbar		n.b.