



**Computergestützte Klassifizierung von Biotoptypen
auf Grundlage digitaler hochauflösender
multispektraler Scannerdaten (HRSC-A)**

Abschlussbericht

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Computergestützte Klassifizierung von Biotoptypen auf Grundlage digitaler hochauflösender multispektraler Scannerdaten (HRSC-A)

Abschlussbericht

Mai 2000

Auftraggeber : Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg
(Auftrag vom 15.12.1998)

BfG-JAP-Nr. : 2609

Seitenzahl : 46

Zahl der Anlagen : 5

Referat : U3 - Landschaftspflege, Vegetationskunde

Bearbeiter : Dipl.-Geogr. Uwe Schröder
Dipl.-Ing. Hubert Liebenstein
Dipl.-Geoökologe Dr. Andreas Sundermeier

Koblenz, 11.05.2000

BfG - 1231

Vervielfältigungen oder Veröffentlichungen des Gutachtens – auch auszugsweise – bedürfen der schriftlichen Genehmigung der Bundesanstalt für Gewässerkunde

INHALTVERZEICHNIS

| | |
|---|-----------|
| TEIL I VERANLASSUNG UND RECHERCHEN | 1 |
| 1 EINLEITUNG | 1 |
| 2 DURCHFÜHRUNG DER MARKT- UND HOCHSCHULANALYSE | 2 |
| 3 ERGEBNISSE DER LITERATUR – RECHERCHE SOWIE DER MARKT- UND HOCHSCHULANALYSE | 3 |
| 3.1 CIR-Luftbilder | 3 |
| 3.1.1 Auswertung von CIR-Luftbildern | 4 |
| 3.1.1.1 Analoge Auswertung | 4 |
| 3.1.1.2 Digitale Auswertung | 5 |
| 3.2 High Resolution Stereo Camera – Airborne (HRSC-A) | 7 |
| 3.2.1 Überblick Kamerasystem | 7 |
| TEIL II PILOTPROJEKT | 10 |
| 4 ENTWICKLUNG EINER METHODIK ZUM EINSATZ DER HRSC-TECHNOLOGIE FÜR DIE BIOTOPTYPENERFASSUNG | 10 |
| 4.1 Auswahl der Testgebiete | 12 |
| 4.2 Befliegung der drei Testgebiete | 14 |
| 4.2.1 Randbedingungen für die Befliegung | 14 |
| 4.2.2 Durchführung der Befliegung | 14 |
| 4.2.3 Aufbereitung (Prozessierung) der Daten | 15 |
| 4.3 Methodenentwicklung des IUW der Hochschule Vechta | 16 |
| 4.3.1 Nachkartierung der Biotoptypen in den Untersuchungsgebieten | 17 |
| Grundlagen der entwickelten Methodik des IUW der Hochschule Vechta | 17 |
| 4.3.2.1 Datenaufbereitung | 17 |
| 4.3.2.1.1 Mosaikierungsstreifen | 17 |
| 4.3.2.1.2 Virtueller Roter Kanal | 18 |
| 4.3.2.1.3 Einbeziehung der Höheninformation | 19 |
| 4.3.2.1.4 Texturanalyse | 21 |
| 4.3.2.2 Klassifikation | 22 |
| 4.3.2.2.1 Separierung von Masken und überwachte multispektrale Klassifikation | 22 |
| 4.3.2.2.2 Aufbereitung der Klassifikationsergebnisse | 25 |
| 5 ERGEBNISSE DES PILOTPROJEKTS | 28 |
| 5.1 Eignung HRSC-Scanner | 28 |
| 5.2 Vergleich UVS-Kartierung – HRSC-Befliegung | 28 |
| 5.3 Erkenntnisse hinsichtlich künftiger Befliegungen: | 31 |

| | |
|--|-----------|
| TEIL III FOLGERUNGEN FÜR DIE BEWEISSICHERUNG | 33 |
| 6 AUSWAHL EINES GEEIGNETEN VERFAHRENS ZUR BIOTOPTYPENKARTIERUNG IM RAHMEN DER BEWEISSICHERUNG | 33 |
| 6.1 Allgemeines | 33 |
| 6.2 Methoden- und Kostenvergleich: Herkömmliche Kartierung – HRSC-Befliegung | 34 |
| 6.2.1 Herkömmliche Kartierung | 34 |
| 6.2.2 HSRC – Befliegung | 36 |
| 6.3 Bewertung des Methoden- und Kostenvergleichs | 37 |
| 6.4 Sonstige entscheidungsrelevante Aspekte | 39 |
| 6.5 Entscheidungsvorschlag der BfG | 40 |
| 6.6 Hinweise für die weitere Durchführung | 41 |
| 7 ZUSAMMENFASSUNG | 42 |

LITERATUR

ANLAGEN

Verzeichnis der Abbildungen

| | |
|--|----|
| ABBILDUNG 3-1 VERGLEICH DER AUFNAHME EINER WALDLANDSCHAFT IM PANCHROMATISCHEN UND INFRAROT-FARBFLUFTBILD. ARTENREICHER RHEINAUWALD MIT ANSTEHENDEN ALTWÄSSERN UND MEHREREN REINEN PAPPELBESTÄNDEN. WEITWINKELAUFNÄHME 1 : 6600, 11. MAI, AUS: HILDEBRANDT, G., HEIDELBERG 1996 | 4 |
| ABBILDUNG 3-2 BEISPIEL EINES CIR-LUFTBILDMOSAIKS MIT DEUTLICHEN RANDABSCHATTUNGEN AUS: KUHN, W., BIEDERMANN, R. U. KLEYER, M., 1998 | 6 |
| ABBILDUNG 3-3 HRSC-A AUF EINER ZEISS T-AS STABILISIERUNGSPLATTFORM MONTIERT, AUS: HTTP://SOLARSYSTEM.DLR.DE/FE/HRSC.SHTML , STAND 04.05.2000 | 7 |
| ABBILDUNG 3-4 AUFNAHMEPRINZIP DES HRSC-A MULTISPEKTRALEN STEREO-ZEILENSCANNERS (SA – STEREO RÜCKWÄRTS, PANCHROMATISCH; IR – INFRAROT; PA – PHOTOMETRIE RÜCKWÄRTS, PAN.; GR – GRÜN; ND - NADIR, PAN.; BL – BLAU; PF – PHOTOMETRIE VORWÄRTS, PAN.; RD – ROT; SF – STEREO VORWÄRTS, PAN. AUS: HTTP://SOLARSYSTEM.DLR.DE/FE/HRSC.SHTML , STAND 16.08. 1999 | 8 |
| ABBILDUNG 4-1 FLUSSDIAGRAMM DES PILOTPROJEKTES | 11 |
| ABBILDUNG 4-2 ZUSAMMENWIRKEN DER BETEILIGTEN INSTITUTIONEN | 12 |
| ABBILDUNG 4-3 LAGE DER TESTGEBIETE IM UNTERSUCHUNGSGBIET | 13 |
| ABBILDUNG 4-4 PHOTOGRAMMETRISCHE PROZESSIERUNGSLINIE FÜR DIE HRSC-A-DATEN (GEÄNDERT NACH BIDO, I. LEHMANN, F., BERLIN 2000) | 16 |
| ABBILDUNG 4-5 ECHTFARBENÄHNLICHE DARSTELLUNG EINES AUSSCHNITTS DER INSEL PAGENSAND UND MANUELL ERSTELLTE FLÄCHENABGRENZUNGEN (EHLERS, M., ET AL. VECHTA 2000) | 17 |
| ABBILDUNG 4-6 SICHTBARE MOSAIKIERUNGSGRENZEN DER FLUGSTREIFEN (DATEN DER ERSTEN PROZESSIERUNG - AUSSCHNITT PAGENSAND – ECHTFARBENÄHNLICHE DARSTELLUNG) (EHLERS, M. ET AL., VECHTA 2000) | 18 |
| ABBILDUNG 4-7 BERECHNUNG EINES VIRTUELLEN ROTEN KANALS (VR) (EHLERS, M. ET AL., VECHTA 2000) | 19 |
| ABBILDUNG 4-8 DIGITALES OBERFLÄCHENMODELL DER INSEL PAGENSAND (EHLERS, M. ET AL., VECHTA 2000) | 20 |
| ABBILDUNG 4-9 BERECHNETE TEXTURWERTE, GEBIET ILMENAU-MÜNDUNG (EHLERS, M. ET AL., VECHTA 2000) | 21 |
| ABBILDUNG 4-10 SCHEMATISCHER ABLAUF DER TRENNUNG DER INFORMATIONEN MIT HILFE VON INDIZES IN MASKEN (EHLERS, M. ET AL., VECHTA 2000) | 23 |
| ABBILDUNG 4-11 VERGLEICH DER SPEKTRALVERLÄUFE VON AUSGEWÄHLTEN BIOTOPTYPEN (EHLERS, M. ET AL., VECHTA 2000) | 25 |
| ABBILDUNG 4-12 FUNKTIONALITÄT DES FOCAL-MAJORITY-FILTERS (EHLERS, M. ET AL., VECHTA 2000) | 26 |
| ABBILDUNG 4-13 DARSTELLUNG DES KLASSIFIKATIONSABLAUFES UND DER ZUSAMMENFÜHRUNG (EHLERS, M. ET AL., VECHTA 2000) | 27 |
| ABBILDUNG 5-1 HRSC-A-AUFNAHME DER INSEL PAGENSAND ÜBERLAGERT MIT DER DGK5 (ROT) UND DER BIOTOPTYPENKARTIERUNG DER UVS (GRÜN) | 30 |
| ABBILDUNG 6-1 FLUSSDIAGRAMM DER FORTFÜHRUNG DER ANWENDUNG IN DER BEWEISSICHERUNG | 41 |

Verzeichnis der Tabellen

| | |
|---|----|
| TABELLE 3-1 TECHNISCHE PARAMETER DER HRSC-A (VERÄNDERT NACH BIDO,I., LEHMANN, F, .BERLIN 2000) | 8 |
| TABELLE 3-2 WELLENLÄNGENBEREICHE DER FILTER DER HRSC-A (BIDO,I., LEHMANN, F, .BERLIN 2000) | 9 |
| TABELLE 4-1 FLUGDATEN DER HRSC-A – BEFLIEGUNG (GEÄNDERT NACH BIDO, I., LEHMANN, F., BERLIN 2000) | 14 |
| TABELLE 4-2 GEZEITENDATEN ZUR BEFLIEGUNGSZEIT AM 05.09.1999, DATEN AUS GEZEITENKALENDER 1999, BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE, 1998. (PAGENSAND (KRÜCKAU-SPERRWERK) BEZOGEN AUF PEGEL GLÜCKSTADT +0:30 UND ILMENAU (ILMENAU-SPERRWERK) BEZOGEN AUF PEGEL ST. PAULI +1:30) | 15 |
| TABELLE 5-1 VERGLEICH DER UVS-KARTIERUNG 1993 - 1996 UND DER KLASSIFIZIERUNG 1999 (VERÄNDERT NACH EHLERS, M. ET AL., VECHTA 2000) | 31 |
| TABELLE 6-1 KOSTEN DER KARTIERUNG NACH UVS (VARIANTE 1A) | 35 |
| TABELLE 6-2 KOSTEN DER KARTIERUNG NACH UVS (VARIANTE 1B) | 36 |
| TABELLE 6-3 KOSTEN DER KARTIERUNG NACH UVS (VARIANTE 1C) | 36 |
| TABELLE 6-4 KOSTEN DER KARTIERUNG MITTELS MULTISPEKTRALER KLASSIFIKATION VON HRSC-A-DATEN | 37 |
| TABELLE 6-5 GESAMTKOSTENVERGLEICH DER BETRACHTETEN VARIANTEN (IN DM) | 38 |



Verzeichnis der Anlagen

- A1 Ausgewählte Ergebnisse der Recherche aus UBA-Datenbank
(Literatur zur CIR-Luftbildinterpretation)
- A2 Bestandsplan Ilmenau-Mündung
- A3 Bestandsplan Elbinsel Pagensand
- A4 Klassifikationsergebnisse und Methodengegenüberstellung - Pagensand
- A5 Klassifikationsergebnisse und Methodengegenüberstellung - Heuckenlock

Teil I

Veranlassung und Recherchen

1 Einleitung

Beim Vorhaben „Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt“ sind in der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) Auswirkungen der von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) berechneten Wasserstandsänderungen - Anstieg des MThw um max. 4 cm, bzw. Absinken des MTnw um max. 7 cm (Springtide oberhalb Pegel St. Pauli) – auf die terrestrischen Lebensgemeinschaften, insbesondere auf die ufernahen Biotoptypen, prognostiziert worden (vgl. Planungsgruppe Ökologie + Umwelt Nord (PÖUN), 1997 und Materialband I (1997): Umweltverträglichkeitsuntersuchung zur Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt.- Fachgutachten Hydromechanik, S. 14).

Der daraus abgeleitete Verlust der ufernahen Biotoptypen ist aufgrund der Größe des Bearbeitungsgebiets (ca. 940 km²) in der UVS in Abhängigkeit von Abschnitten bestimmter Wasserstandsänderungen pauschal zwischen 2% und 5% angenommen worden. In vielen Einwendungen zur Baumaßnahme sind die Flächen, die aus den Prognosen der Eingriffserheblichkeit in der UVS abgeleitet wurden, angezweifelt worden. Im Planfeststellungsbeschluss zum Ausbau der Unter- und Außenelbe (vgl. PLANFESTSTELLUNGSBESCHLUSS zur Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt, 1999, S. 45) wird daher ein Beweissicherungsverfahren gefordert, welches die potenziellen Veränderungen erfassen und die UVS-Prognosen überprüfen soll.

Dies betrifft laut Planfeststellungsbeschluss die Biotoptypen

- Weidenauwald und Weidengebüsch,
- Röhrichte und Uferstaudenfluren
- sowie als einzelne besonders gefährdete Art den Wasserschierlingsfenchel.

Während der Wasserschierlingsfenchel einer gesonderten Betrachtung unterliegt, müssen die betroffenen o.a. Biotoptypen nach Festlegung des Planfeststellungsbeschlusses stromaufwärts von Brunsbüttel erfasst werden. D.h. diese Biotoptypen sind jeweils, zwischen Brunsbüttel und Geesthacht sowie an den Nebenflüssen, soweit sie dem Tideeinfluss unterliegen, vollständig und flächenhaft zu kartieren. Die anderen Biotoptypen sind nicht zu erfassen. Die Kartierung dieser Flächen im angeführten Gebiet erfordert einen sehr hohen Personalaufwand und könnte z.B. durch eine geeignete Befliegung (im Planfeststellungsbeschluss wird die Möglichkeit einer CIR-Befliegung¹ angeführt) sowohl vom Zeit-, Personal- als auch Kostenaufwand reduziert werden.

Es ist davon auszugehen, dass diese Kartierungen über einen längeren Zeitraum in regelmäßigen Abständen von zwei Jahren durchgeführt werden müssen, falls sich

¹ CIR – Befliegung: Color-Infrarot – Befliegung (siehe auch Kapitel 3.1)

entsprechende Veränderungen in den angesprochen Bereichen einstellen sollten. Es muss also gesichert sein, dass die Kartierungen untereinander vergleichbar sind, um etwaige Tendenzen einer Veränderung aufzeigen zu können. Es muss demnach ausgeschlossen sein, dass sich Veränderungen aufgrund von Kartier-Ungenauigkeiten ergeben.

Diese Forderungen haben zu der Überlegung geführt, ob es Möglichkeiten gibt, die Biotoptypen auf Grundlage des Datenmaterials einer geeigneten Befliegung automatisiert zu erfassen. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Referat U3, wurde daraufhin vom Träger des Vorhabens (TdV), dem Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Hamburg, beauftragt eine Markt- und Hochschulanalyse zur automatisierten Auswertung von Luftbildbefliegungen durchzuführen und gegebenenfalls ein Pilotprojekt zu starten, um ein zeit-, personal- und kostengünstiges Verfahren zur gezielten automatisierten Erfassung von Biotoptypen für den Einsatz im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) zu testen. Nachdem im September 1999 ein Zwischenbericht vorgelegt wurde, kann nun der Abschlussbericht übergeben werden.

2 Durchführung der Markt- und Hochschulanalyse

Da die klassische Form der fernerkundlichen Erfassung von Biotoptypen die Auswertung von CIR-Luftbildern ist und auch im Planfeststellungsbeschluss der Hinweis auf eine Durchführung einer CIR-Befliegung erfolgte, wurde zunächst in Hinblick auf die oben genannte Fragestellung in erster Linie an eine automatisierte Auswertung von CIR-Luftbildern gedacht.

Nach der Beauftragung hat die BfG sowohl eine umfangreiche internationale Literaturrecherche durch die Bibliothek der BfG veranlasst (siehe auch Anlage A5, Ausgewählte Ergebnisse der Recherche aus UBA-Datenbank) als auch bei kompetenten Firmen auf dem Gebiet der Fernerkundung, u.a. Hansa Luftbild, Erkundigungen über den aktuellen fachlichen und technischen Stand der CIR-Luftbildauswertung und anderen Möglichkeiten der Fernerkundung zur Biotoptypenerfassung (z.B. über Schwarz/Weiß – Luftbilder), eingeholt. Weiterhin fanden Gespräche mit Vertretern des Institutes für Umweltwissenschaften der Hochschule Vechta statt, welches auf dem Gebiet der digitalen Auswertung von Fernerkundungsdaten und deren Verarbeitung als äußerst kompetent gilt. In dieser Besprechung sind verschiedene Möglichkeiten der Biotoptypenerfassung mittels Luftbildern diskutiert worden. Hinsichtlich der geforderten Genauigkeiten und der Fragestellung einer automatisierten Klassifikation erfolgte der Hinweis auf einen ganz aktuellen Kameratyp und die damit verbundenen Potenziale einer digitalen Auswertung im Rahmen einer Luftbildbefliegung.

Dieser Kameratyp -„High Resolution Stereo Camera – Airborne“ (HRSC-A)- wird vom Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung, in Berlin seit kurzem im erdnahen Bereich eingesetzt. Um weitergehende Informationen zu dieser Art der Luftbilderstellung und über Erfahrungen damit in vorangegangenen Projekten zu erhalten, fand noch ein Termin beim DLR in Berlin statt.

3 Ergebnisse der Literatur – Recherche sowie der Markt- und Hochschulanalyse

In der Fernerkundung werden verschiedene Arten von Luftbildern bearbeitet. Je nach Interpretationsziel finden Schwarzweiß- oder Farbluftbilder Verwendung oder auch Aufnahmen, die einen Spektralbereich bis in das nahe Infrarot abdecken. Im Vergleich zu Schwarzweiß oder panchromatischen Bildern bieten CIR-Luftbilder aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften erhebliche Vorteile bei der Erfassung von Vegetationseinheiten und Biotoptypen.

Da für unsere Fragestellung insbesondere CIR-Luftbilder und HRSC-A-Daten in Betracht kommen, wird sich im Folgenden auf diese Befliegungsarten konzentriert.

Für eine automatisierte, also computergestützte Auswertung (z.B. eine multispektrale Klassifikation) müssen an die zu verwendenden Daten folgende Anforderungen gestellt werden:

- Das zu befliegende Gebiet muss sehr homogen erfasst werden, d.h. Helligkeitsunterschiede aufgrund des Filmmaterials dürfen nicht vorkommen,
- die Aufnahmen sollten hochauflösend sein, so dass eine größte mögliche Interpretationstiefe gewährleistet ist,
- es soll ein möglichst großer Spektralbereich erfasst werden (bis in das nahe Infrarot (NIR)),
- eine genaue Geopositionierung muss gewährleistet sein.

3.1 CIR-Luftbilder

Mit CIR - Filmen wird der Spektralbereich des sichtbaren und des nahen infraroten Lichtes von 0,4 bis 0,9 μm ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$) Wellenlänge genutzt. Die Farbwiedergabe wird technisch so gesteuert, dass infrarote Strahlung rot dargestellt wird, rot zu grün und grün zu blau wird.

Der effektive Vorteil dieser Aufnahmetechnik liegt in der Tatsache begründet, dass Pflanzenbestände spezifische Reflexionsverhalten und -eigenschaften haben, welche vom physiologischen und phänologischen Zustand der Pflanzen, von den Blattorganen und deren Stellung, von der vertikalen Gliederung der Bestandsoberfläche und der Artenzusammensetzung beeinflusst werden (siehe Abbildung 3-1).

Für die Reflexions- und Absorbtionseigenschaften der Assimilationsorgane ist ihr anatomischer Aufbau bestimmend. Infrarote Strahlung kann im Gegensatz zu sichtbarem Licht bis in die Interzellularen vordringen, wo sie reflektiert und gestreut wird (vgl. ELSCHER, T. UND TIELBAAR, H.-C., Stuttgart, 1988).

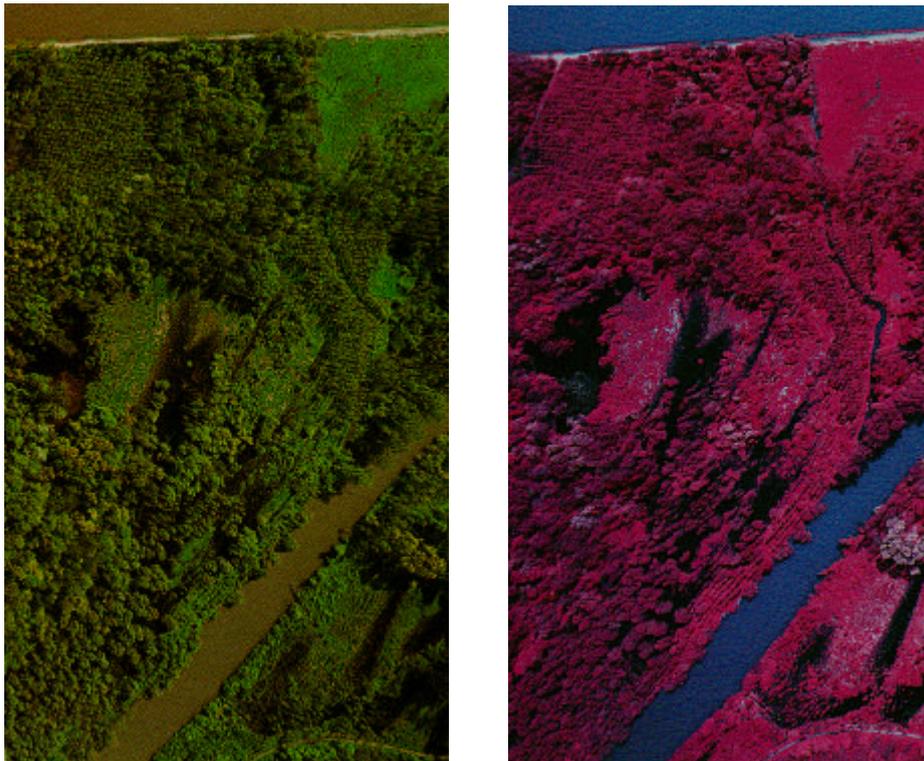


Abbildung 3-1 Vergleich der Abbildung einer Waldlandschaft im panchromatischen und Infrarot-Farbluftbild. Artenreicher Rheinauwald mit anstehenden Altwässern und mehreren reinen Pappelbeständen. Weitwinkelaufnahme 1 : 6600, 11. Mai, aus: Hildebrandt, G., Heidelberg 1996

Beispiele für den Einsatz von CIR-Luftbildmaterial sind die Waldschadensanalysen und die Erstellung flächendeckender digitaler Biotoptypenkarten in den neuen Bundesländern sowie Kartierungen im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung: z.B. die Befliegungen der Saar, des Mains und der Unterweser.

3.1.1 Auswertung von CIR-Luftbildern

3.1.1.1 Analoge Auswertung

Die analoge Auswertung von CIR-Luftbildern durch erfahrenen Interpreten ist bis heute der maßgebliche Standard. Die Interpretation basiert im wesentlichen auf der stereoskopischen Erfassung von farbigen und strukturellen Mustern, dem Erkennen von räumlichen Zusammenhängen und der Erfahrung des Luftbildinterpreten (vgl. ELSCHER, T. UND TIELBAAR, H.-C., Stuttgart, 1988). Mit Vorort-Kartierungen werden Interpretationsschlüssel bestimmt, welche als Verknüpfung zwischen Luft- und Bodenansicht dienen. Für jeden Bildflug ist ein neuer Interpretationsschlüssel zu erstellen, da gleiche Objekte im allgemeinen auf CIR-Filmen unterschiedlich wiedergegeben werden.

Für das Beweissicherungsverfahren an der Unter- und Außenelbe ist zu bedenken, dass die zu erwartenden Verschiebungen der Biotoptypengrenzen - z.B. eines Röhrichtbestandes - einige Dezimeter betragen können. Die Datenaufnahme müsste also so genau sein, dass von einer Toleranz unter diesem Wert ausgegangen werden muss. Die Toleranz muss auch Einflussgrößen wie Kartierungsungenauigkeiten beinhalten. Alle diese Faktoren sind nur

begrenzt steuerbar, aber es muss versucht werden, sie so klein wie möglich zu halten. Die Ergebnisse eines Vergleichs der Zustände der Biotoptypenausdehnung verschiedener Jahre können dann Tendenzen einer gerichteten Veränderung aufzeigen. Ob diese Bedingungen mit einer klassischen Biotoptypenbestimmung via CIR-Luftbildern einzuhalten sind, ist anzuzweifeln, da die Aufnahmegenauigkeit mit Sicherheit weit über einer zulässigen Toleranz liegen würde. H. KENNEWEG (1996) bemerkt zur Biotoptypenkartierung mit CIR-Luftbildern in den neuen Bundesländern:

„Die Biotoptypen als Interpretationsergebnis werden zunächst in Form von Skizzen auf Deckfolien über dem Bild markiert. Anschließend erfolgt (mit unterschiedlichen, aber ‚wirtschaftlichen‘, und das heißt einfachen Methoden) eine Übertragung auf die Kartenreinzeichnung über der TK10. Durch Zeichenungenauigkeit, kleine Verschiebungen bei der Übertragung, schwer definierbare Grenzlinien, höhenbedingte Luftbildverzerrung oder Materialverzug entstehen Ungenauigkeiten, die eine Positionierung auf der Karte höchstens mit einer Lagegenauigkeit von 1mm (im Vergleich zur Karte) zulässt.

Für GIS-Anwendungen oder beabsichtigte spätere Veränderungsnachweise dürfte damit eine kritische Grenze überschritten sein.“ (KENNEWEG, H., München 1996, S.84)

Wenn diese recht hohe Einschätzung der Genauigkeit auf den vorgesehenen Aufnahmemaßstab von 1 : 5.000 hochgerechnet wird, so erhält man eine Toleranz von 5m. Wahrscheinlich dürften die Ungenauigkeiten noch größer sein. Um die für die Beweissicherung erforderliche Genauigkeit sicherzustellen, ist ein höchstes Maß an Genauigkeit bereits bei der Aufnahme der auszuwertenden Daten zu gewährleisten.

Folgende Faktoren beeinflussen Farbe, Form und Struktur von CIR-Luftbildern:

- Jahres- und Uhrzeit der Befliegung,
- Wetter am Tage der Befliegung,
- Staub- und Feuchtigkeitsgehalt der Luftschicht im Aufnahmebereich,
- Flugrichtung und Flughöhe,
- Objektivart und Filterung am Objektiv sowie
- Filmemulsion und Filmentwicklung.

Insbesondere die chemischen Prozesse der Belichtung und der Entwicklung können zu äußerst unterschiedlichen Ergebnissen in der Farbe führen. Selbst bei Abzügen eines Filmes können die Farben von Bild zu Bild deutlich variieren. Auch Helligkeitsunterschiede in einem einzelnen Bild sind die Regel (CIR-Luftbilder neigen zu einer zum Rand abnehmenden Helligkeit). Die Interpretation der Bilder verlangt also komplexe Betrachtungsweisen, um diese Ungenauigkeiten auszugleichen.

3.1.1.2 Digitale Auswertung

Die computergestützte Auswertung von Schwarz-Weiß-Luftbildern oder Satellitenbildern ist in der Fernerkundung nichts neues. Es gibt verschieden Programme und Auswerteverfahren, die standardisierte digitale Klassifizierungen möglich gemacht haben.

Eine multispektrale Klassifikation von CIR-Luftbildmaterial ist in diesem Sinne aber nicht empfehlenswert. Auf Grundlage von Versuchen einer multispektralen überwachten

Klassifikation von CIR-Luftbildern zur Ermittlung der Versiegelung in der Stadt Osnabrück kommt MÖLLER (1998) zu dem Ergebnis:

„Aufgrund der Helligkeitsunterschiede in den Überlappungsbereichen und den perspektivischen Versätzen würde ein Luftbildmosaik aber ein stark inhomogenes Bild ergeben, das bei einer multispektralen Klassifikation unweigerlich zu Fehlzusweisungen führen würde.“ (MÖLLER, M., 1998, S. 345)

Eine computergestützte automatisierte Auswertung von CIR-Luftbildern hinsichtlich der Kartierung von Biotoptypen scheidet also aus verschiedenen Gründen aus:

- vergleichbare Bedingungen (Befliegungszeitraum, Einstrahlungswinkel, Vegetationsentwicklung, Witterung) sind nur schwer einzuhalten,
- eine Auswertung von CIR-Luftbildern wird im allgemeinen von speziell geschultem Personal durchgeführt, welches komplexe Zusammenhänge in der Bildstruktur und Farbe erkennen und interpretieren kann. Solche komplexen Zusammenhänge in ein Computerprogramm einzubinden, welches einfach zu modifizieren wäre, um auf einen neuen Interpretationsschlüssel eingestellt zu werden, erscheint bisher nur eingeschränkt bzw. gar nicht lösbar,
- CIR-Luftbilder besitzen aufgrund ihrer chemischen Entwicklung sehr unterschiedliche Farbtypen, auch wenn sie aus demselben Bildflug und demselben Film stammen sowie starke Helligkeitsunterschiede zwischen Zentrum und Peripherie eines Bildes. Diese Unterschiede sind sehr viel stärker ausgeprägt als zum Beispiel bei Schwarz-Weiß-Aufnahmen (siehe Abbildung 3-2),
- eine genaue Geopositionierung und Entzerrung der Luftbilder ist nicht mit einer Genauigkeit machbar, die den oben genannten Ansprüchen genügt.



Abbildung 3-2 Beispiel eines CIR-Luftbildmosaiks mit deutlichen Randabschattungen aus: Kuhn, W., Biedermann, R. u. Kleyer, M., 1998

3.2 High Resolution Stereo Camera – Airborne (HRSC-A)

Die oben formulierten Ansprüche scheinen in einem opto-elektronischen multispektralen Stereoscanner vereinigt zu sein, welcher vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) entwickelt wurde.

3.2.1 Überblick Kamerasystem

Die photogrammetrische Genauigkeit dieses Systems liegt im Dezimeterbereich, 15-20 cm lateral und vertikal in Bezug auf die absolute äußere Orientierung. Es wird bei einer Flughöhe von 2500 m eine räumliche Auflösung von 10 cm erreicht.

Die digitale multispektrale High Resolution Stereo Camera (HRSC), die für die Erkundung des Planeten Mars im Rahmen der russischen Raumfahrtmission Mars96 entwickelt wurde, ist nach dem missglückten Start der Mission als modifiziertes Modell in zahlreichen Flugzeugeinsätzen erfolgreich zur Erdbeobachtung eingesetzt worden.



Abbildung 3-3 HRSC-A auf einer Zeiss T-AS Stabilisierungsplattform montiert, aus: <http://solarsystem.dlr.de/FE/hrsc.shtml>, Stand 04.05.2000

Insbesondere wegen der Entwicklung für den „Deep Space“ – Einsatz ist der Kamera ein geringes Gewicht, kleine Abmessungen und geringer Stromverbrauch zu eigen. Die Kamera verfügt über neun Kanäle (zwei Stereo-, zwei Photometrie-, ein Nadir- sowie vier multispektrale Kanäle).

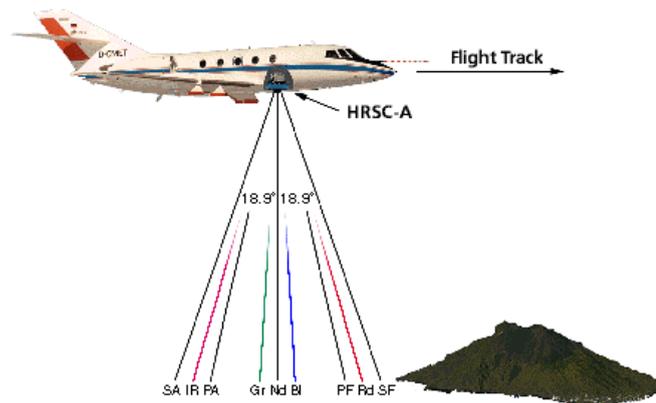


Abbildung 3-4 Aufnahmeprinzip des HRSC-A multispektralen Stereo-Zeilenscanners (SA – Stereo rückwärts, panchromatisch; IR – Infrarot; PA – Photometrie rückwärts, pan.; Gr – Grün; Nd - Nadir, pan.; Bl – Blau; PF – Photometrie vorwärts, pan.; Rd – Rot; Sf – Stereo vorwärts, pan. aus: <http://solarsystem.dlr.de/FE/hrsc.shtml>, Stand 16.08. 1999

| | |
|--|---|
| Brennweite | 175 mm |
| Total field of view | 36.0° x 11.8° |
| Anzahl der CCD Zeilen | 9 |
| Stereowinkel (bezogen auf Nadir) | ±18.9°, ±12.8° |
| Anzahl der pro Zeile | 5184 |
| Pixelgröße | 7 x 7 µm |
| Radiometrische Auflösung | 10 bit reduziert auf 8 bit |
| Scannfrequenz | 450 Zeilen/sec (Maximum) |
| Masse | 32 kg |
| Datenrate | 10Mbytes/sec |
| Instrument Stabilisierung | Carl Zeiss T – AS Stabilisierungsplattform, |
| Lagedatenaufzeichnung | IMU auf Kamera montiert, D-GPS APPLANIX position and orientation system |
| Datenaufnahme | Sony high-speed tape recorder, Kapazität 100 Gbytes/tape |
| Flugparameter /typisch für Cessna 208) | 3500 m AGL (6000 m max), Geschwindigkeit = 250 km/h |

Tabelle 3-1 Technische Parameter der HRSC-A (verändert nach BIDO,I., LEHMANN, F, .Berlin 2000)

| Kanal | Filter | Wellenlängenbereich (nm) | Bandbreite | Winkel |
|-------------------------|----------------|--------------------------|------------|--------|
| SF Stereo Vorwärts | Panchromatisch | 675±90 / 585-765 | 180nm | 18.9° |
| Rd Rot | Rot | 750±20 / 730-770 | 40nm | 15.9° |
| PF Photometrie Vorwärts | Panchromatisch | 675±90 / 585-765 | 180nm | 12.8° |
| Bl Blau | Blau | 440±45 / 395-485 | 90nm | 3.3° |
| Nd Nadir | Panchromatisch | 675±90 / 585-765 | 180° | 0° |
| Gr Grün | Grün | 530±45 / 485-575 | 90nm | -3.3° |
| PA Photmetrie rückwärts | Panchromatisch | 675±90 / 585-765 | 180nm | -12.8° |
| IR Infrarot | Infrarot | 970±45 / 925-1015 | 90nm | -15.9° |
| SA Stereo rückwärts | Panchromatisch | 675±90 / 585-765 | 180nm | -18.9° |

Tabelle 3-2 Wellenlängenbereiche der Filter der HRSC-A (BIDO, I., LEHMANN, F., Berlin 2000)

Es ist zu beachten, dass der Filter des „roten Kanals“ nicht die Wellenlängen des sichtbaren roten Lichtes (0,6 – 0,7 µm) erfasst sondern Bereiche des nahen Infrarot und der infraroten Filter Wellenlängenbereiche des mittleren Infrarot abdeckt. Dies resultiert daraus, dass die Kamera für die spektralen Verhältnisse des Mars entwickelt wurde. Im Nachfolgermodell (HRSC-AX) wurde dies berücksichtigt und die multispektralen Bandbreiten verändert (IR = 0,77-0,814 µm und Rot = 0,642-0,682 µm).

Das opto-elektronische HRSC-A-System bietet gegenüber konventionellen analogen Kamerasystemen eine Reihe von Vorteilen:

- Wohldefinierte innere Geometrie: mehrere Sensoren (9CCD-Zeilen) liegen hinter einer Optik
- Schneller Zugriff auf digitale geopositionierte Daten
- Hohe radiometrische Auflösung
- Vier Stereokanäle/photogrammetrische Kanäle
- Vier multispektrale Kanäle von Blau bis Infrarot
- Hohe geometrische Genauigkeit

(vgl. BIDO, I., LEHMANN, F., Berlin 2000)

Teil II Pilotprojekt

4 Entwicklung einer Methodik zum Einsatz der HRSC-Technologie für die Biotoptypenerfassung

Wie eingangs erwähnt, wurde diese neue Technologie bei einem informativen Gespräch am 25.03.1999 von Prof. Dr. Ehlers, Leiter des Fachbereiches für Umweltwissenschaften und Geoinformatik der Hochschule Vechta, herausgestellt.

Bis zum damaligen Zeitpunkt gab es keine Flugkampagne mit dem HRSC-A-Scanner, die sich konkret mit der Erfassung von Biotoptypen befasste. Eine Anwendungsmöglichkeit ließ sich bisher nur theoretisch ableiten, wenn auch mit sehr guten Erfolgsaussichten im Vergleich zu konventionellen Methoden der Fernerkundung. Deshalb wurde zunächst ein Pilotprojekt gestartet, in dem in festgelegten Gebieten eine Befliegung mit der neuen Technologie stattfand und eine Methodik zur Erfassung von bestimmten Biotoptypen erarbeitet wurde, auf die dann im weiteren Verlauf der Beweissicherung, im Falle eines erfolgreichen Projektes, zurückgegriffen werden kann.

Die DLR wurde beauftragt, drei Testgebiete bis spätestens Ende August (bei widrigen Witterungsverhältnissen sollte eine Ausdehnung des Zeitfensters bis in die ersten Septembertage möglich sein) zu befliegen und die Daten dann möglichst schnell aufbereitet der Hochschule Vechta zu übermitteln. Die Hochschule sollte dann in Zusammenarbeit mit der BfG als Auftraggeber bis Anfang 2000 eine Auswertungsmethodik entwickeln und testen (siehe auch 4.3).

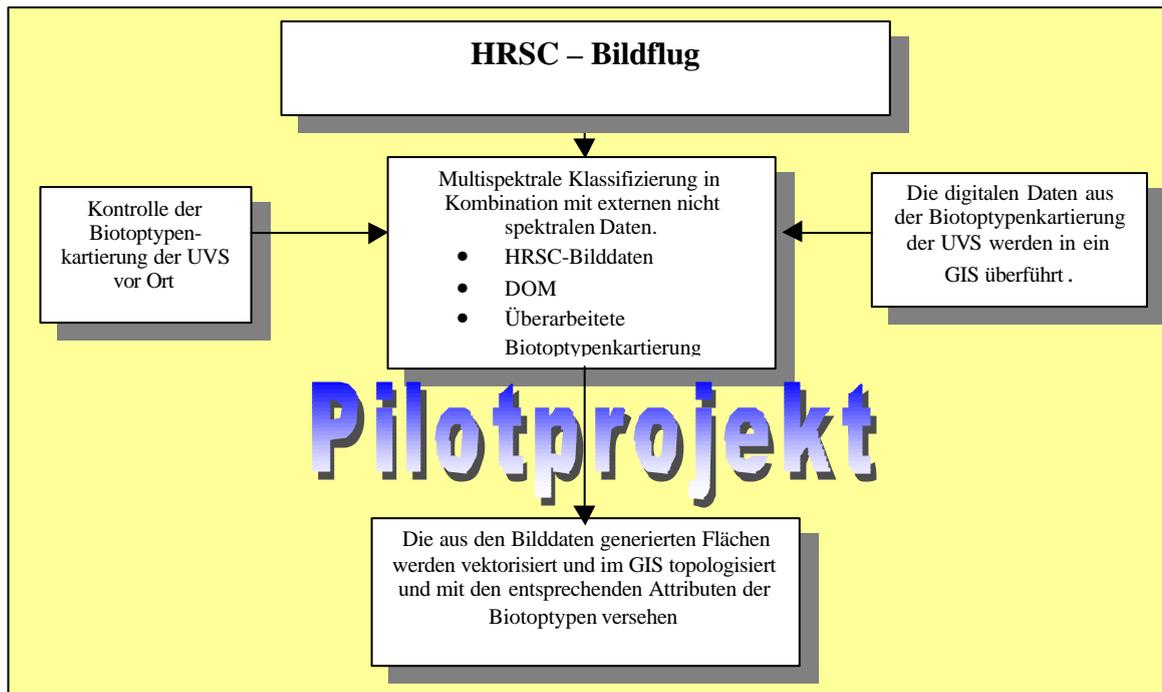


Abbildung 4-1 Flussdiagramm des Pilotprojektes

Kernpunkte der Testphase zur automatisierten Erfassung von Biotoptypen mittels einer HRSC-Befliegung waren u.a.

- Befliegung der Testgebiete und Aufbereitung der Rohdaten (DLR),
- Konzeption einer konkreten Methode zur automatisierten Biotoptypeninterpretation, Entwicklung der GIS-gestützten Erfassungsroutinen, u.U. Entwicklung des Verfahrens für verbreitete und kostengünstige Software, um kostengünstige Vergabealternativen sicherzustellen.

Die zentralen Fragestellungen werden in dieser Testphase die Genauigkeiten des Bildmaterials und die Verarbeitungsmöglichkeiten betreffen:

- Wie hoch ist Abgrenzungsgenauigkeit?
- Wie hoch ist die Interpretationstiefe in Bezug auf Biotoptypen?

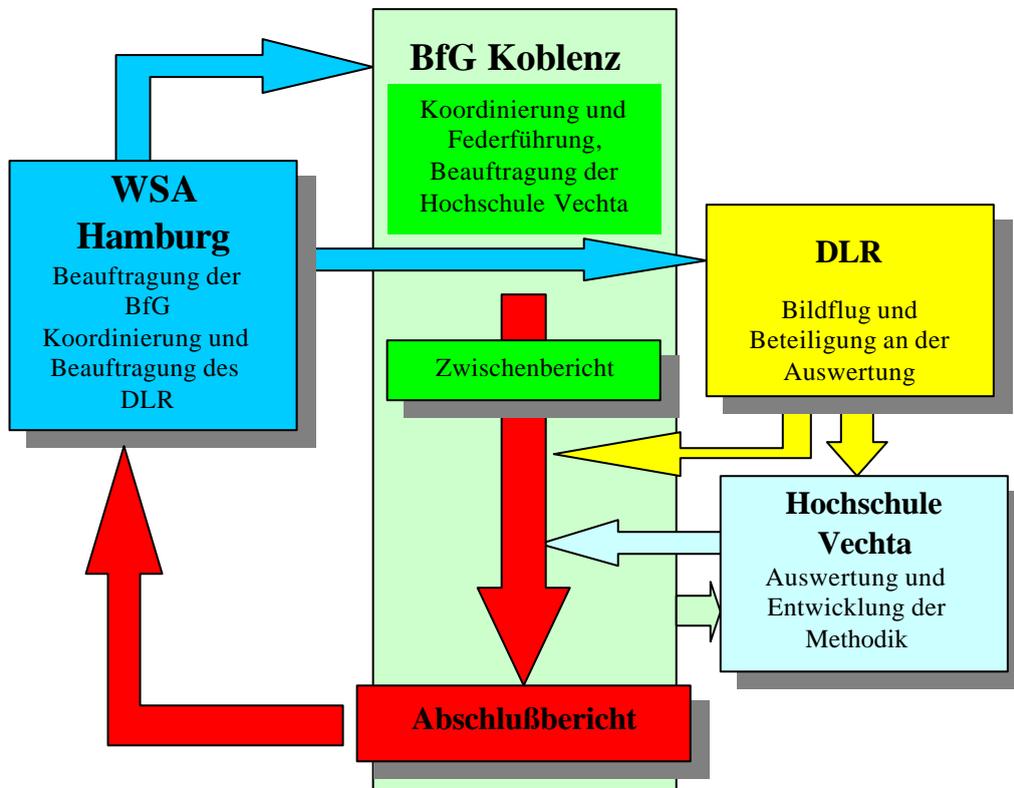


Abbildung 4-2 Zusammenwirken der beteiligten Institutionen

4.1 Auswahl der Testgebiete

Für das Pilotprojekt wurden prototypisch insgesamt drei Testgebiete ausgewählt (siehe Abbildung 4-3, die von der Biotoptypenausstattung geeignet erschienen:

- Die Elbinsel Pagensand
- Das Ilmenau-Mündungsgebiet
- Das Naturschutzgebiet Heuckenlock

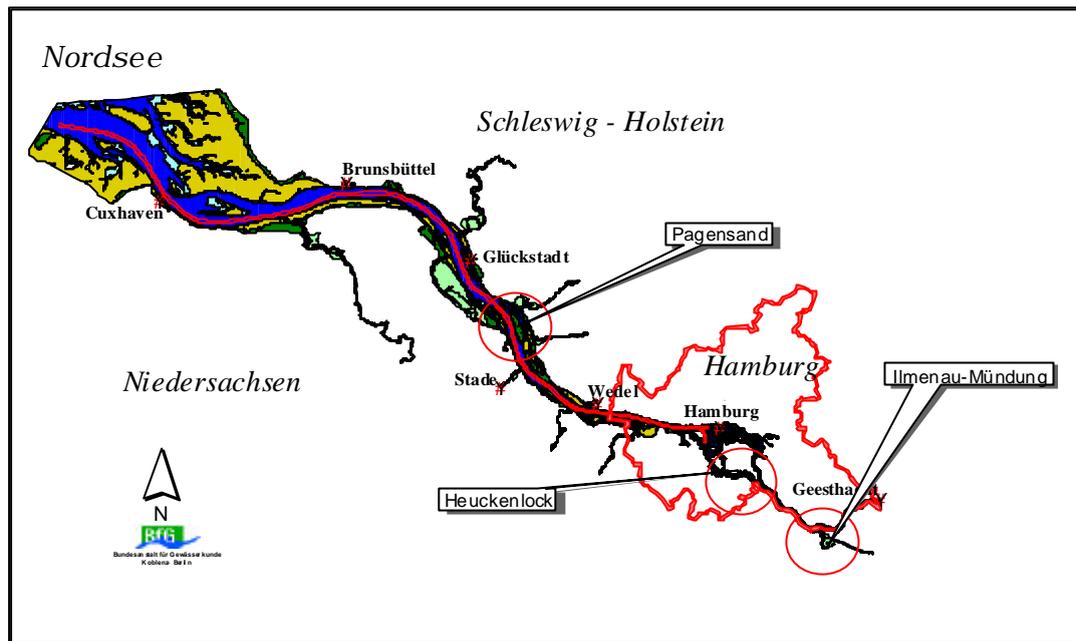


Abbildung 4-3 Lage der Testgebiete im Untersuchungsgebiet

Zwei der Testgebiete (die Elbinsel Pagensand und das Ilmenau-Mündungsgebiet) wurden konkret für die Methodenentwicklung mit einbezogen. Die aus der UVS vorliegenden Biotoptypendaten sollten als nicht spektrale Zusatzinformation mit in das Klassifizierungsverfahren eingebunden werden (siehe Anlagen A2 und A3).

Die Insel Pagensand wurde ausgewählt, da dort die entscheidenden betroffenen Biotoptypen teilweise in einer klassischen Uferzonierung auftreten und aufgrund der Insellage das Gebiet klar abgrenzbar ist.

Das Ilmenau-Mündungsgebiet wurde gewählt, da dort verschiedenste von uns zu betrachtende Biotoptypen kleinräumig und mosaikartig verschachtelt vorkommen. Es bietet damit sowohl von der Struktur als auch von der Biotoptypenausstattung ein gänzlich anderes Erscheinungsbild als Pagensand.

Das Naturschutzgebiet Heuckenlock an der Süderelbe in Hamburg wurde als Test- und Referenzgebiet mitbeflogen, um die anhand der anderen Gebiete entwickelte Methodik auf „unbekanntem“ Terrain anzuwenden. Während dem Institut für Umweltwissenschaften (IUW) der Hochschule Vechta für Pagensand und Ilmenau die Biotoptypenkartierung der UVS in digitaler und für GIS aufbereiteter Form übergeben wurden, sind die Daten für das Heuckenlock zurückbehalten worden.

Diese Gebiete liegen räumlich noch soweit zusammen, dass eine Befliegung an einem Tag und zu günstigen Tideverhältnissen möglich ist. Es wurde festgelegt, dass, wenn die Witterung es zulässt, die Testgebiete bei maximal mittleren Wasserstand beflogen werden, um eine wasserseitige möglichst genaue Abgrenzung zu gewährleisten.

Die beiden nachfolgenden Kapitel zur Durchführung der Befliegung (4.2) und zur Methodenentwicklung (4.3) sind Zusammenfassungen der beiden Abschlussberichte des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (BIDO, I., LEHMANN, F., Berlin 2000) sowie der Hochschule Vechta (EHLERS, M., MÖLLER, M., JANOWSKY, R., GÄHLER, M., Vechta 2000). In den einzelnen Kapiteln wird deshalb auf entsprechende Verweise beim zitieren verzichtet.

4.2 Befliegung der drei Testgebiete

4.2.1 Randbedingungen für die Befliegung

Die Aufgabenstellung machte es erforderlich, dass bestimmte Randbedingungen berücksichtigt werden mussten.

- Die Sichtverhältnisse mussten günstig, d. h., es musste wolkenfrei und relativ windstill sein
- Das Befliegungsdatum sollte auf den Vegetationshöhepunkt der zu klassifizierenden Vegetationsgesellschaften abgestimmt sein
- Die Befliegung sollte bei Niedrigwasser der Elbe stattfinden
- Die Befliegung sollte um die Mittagszeit durchgeführt werden, um den Schattenwurf gering zu halten.

4.2.2 Durchführung der Befliegung

Für die Befliegung wurde die HRSC-A - Kamera auf einer Cessna 208 Caravan eingesetzt. Nachdem durch das WSA – Hamburg die geforderten Passpunkte für die Befliegung festgelegt und mittels GPS eingemessen waren (Pagensand 5, Ilmenau und Heuckenlock je 6 Passpunkte), fand am 05.09.1999 um die Mittagszeit die Befliegung durch die DLR statt (siehe Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2). Die Boden-GPS-Referenzstationen in den drei Zielgebieten wurden rechtzeitig informiert, um auf den notwendigen 1-sec-Takt umzustellen.

Die Wetterbedingungen waren gut, d. h., es war relativ windstill und sehr gering bewölkt bis wolkenlos. Der Sonnenstand während der Befliegung lag zwischen 30° (11:00 Uhr) und 43° (13:14 Uhr). Die Flughöhe betrug jeweils ca. 3000 m.

| Untersuchungsgebiet | Beginn | Ende | Dauer | Flugstreifen | Überlappung der Flugstreifen (%) |
|---------------------|-----------|-----------|--------|--------------|----------------------------------|
| Insel Pagensand | 11:03 Uhr | 11:39 Uhr | 0:36 h | 6 | 40 |
| NSG Heuckenlock | 11:58 Uhr | 12:10 Uhr | 0:12 h | 3 | 40 |
| Ilmenaumündung | 12:23 Uhr | 13:14 Uhr | 0:51 h | 7 | 40 |

Tabelle 4-1 Flugdaten der HRSC-A – Befliegung (geändert nach BIDO, I., LEHMANN, F., Berlin 2000)

| | Pagensand | Ilmenau |
|-----|-----------|---------|
| Thw | 05:50 | 08:42 |
| Thw | 11:32 | 14:00 |

Tabelle 4-2 Gezeitendaten zur Befliegungszeit am 05.09.1999, Daten aus Gezeitenkalender 1999, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, 1998. (Pagensand (Krückau-Sperrwerk) bezogen auf Pegel Glückstadt +0:30 und Ilmenau (Ilmenau-Sperrwerk) bezogen auf Pegel St. Pauli +1:30)

Hinsichtlich der Befliegungsbedingungen konnten demzufolge nicht alle Randbedingungen (z. B. Befliegungsdatum, Niedrigwasserstände) optimal eingehalten werden, was sich auf die grundsätzlichen Aussagen des Pilotprojektes in diesem Fall nicht nachteilig auswirkt. Bei künftigen Anwendungen müssen diese Randbedingungen jedoch stärker beachtet werden um die Auswertung zu erleichtern.

4.2.3 Aufbereitung (Prozessierung) der Daten

Die während des Fluges aufgezeichneten Daten mussten anschließend prozessiert werden. Dabei teilt sich die Datenaufbereitung in eine systematische und eine photogrammetrische Prozessierung.

An die geometrische Genauigkeit werden sehr hohe Anforderungen gestellt. Während des Fluges muss deshalb ständig mit hoher Präzision die Aufnahmeposition bestimmt werden. Zur Positions- und Lagebestimmung wird dabei das Navigationssystem GPS/INS der Firma APPLANIX zusammen mit dem Differential Global Positioning System (DGPS) eingesetzt. Die Navigationsdaten lagen nach etwa eineinhalb Wochen vor und konnten anschließend prozessiert werden.

Unter der **systematischen Prozessierung** von HRSC-Daten versteht man das Zusammenfassen (Demultiplexen) der gesamthaft gewonnenen Aufnahmedaten zu Bilddaten für die einzelnen HRSC-A-Sensoren, damit diese anschließend photogrammetrisch weiter prozessiert werden können. Dazu werden die Originaldaten (Bilddaten und Navigations-/Positionsdaten) ausgelesen und zu vollständigen Datensätzen für jeden Kanal und Flugstreifen zusammengefasst. Danach müssen die Rohdaten radiometrisch kalibriert werden, d. h., Störeinflüsse wie Sonnenhöhe, Geländeform und Atmosphäreneigenschaften zum Aufnahmezeitpunkt werden eliminiert, damit die spektrale Signatur möglichst nur von der Oberflächenbedeckung abhängt.

Die radiometrisch kalibrierten Bilddaten, geometrische Kalibrierungsdaten, Informationen zur Position und Lage sowie Passpunktkoordinaten sind die Ausgangsdaten für die anschließende **photogrammetrische Prozessierung**, z. B. die Erzeugung eines Digitalen Oberflächenmodells oder die Erstellung von Orthobildern. Die photogrammetrische Prozessierungslinie ist in Abbildung 4-4 dargestellt.

Über identische Bildzuordnungspunkte in den vier Stereokanälen und dem Nadirkanal ist es möglich, ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) zu berechnen. Das DOM kennzeichnet Objekte (offener Boden, Gebäude, Vegetation) in ihrer Höhe über NN, also Geländehöhe plus Objekthöhe.

Die DOM für die drei Testgebiete dienen gleichzeitig als Eingabedaten für die Orthobilderstellung, die separat für jeden der einzelnen HRSC-A - Spektralkanäle erfolgen muss und Voraussetzung für die Kombination verschiedener Farbkanäle ist. Bei der

Bearbeitung größerer Projektgebiete, die mit mehr als einem Flugstreifen abgedeckt werden, muss – wiederum getrennt für alle Bildkanäle – eine Mosaikbildung der einzelnen Orthobildstreifen erfolgen, d. h., die Bildinformationen der Überlappungsbereiche müssen einander angepasst werden. Voraussetzung hierfür ist eine konstante Beleuchtungssituation in einem Flugstreifen. Eine nicht konstante Beleuchtungssituation ergab sich für das Testgebiet Ilmenau-Mündung, was die entsprechende Auswertung dort erschwerte (vgl. Kapitel 4.3.2.2.1)

Für die Testgebiete konnten die Bilddaten mit 20 cm Lagegenauigkeit und 30 cm Höhengenaugigkeit prozessiert werden.

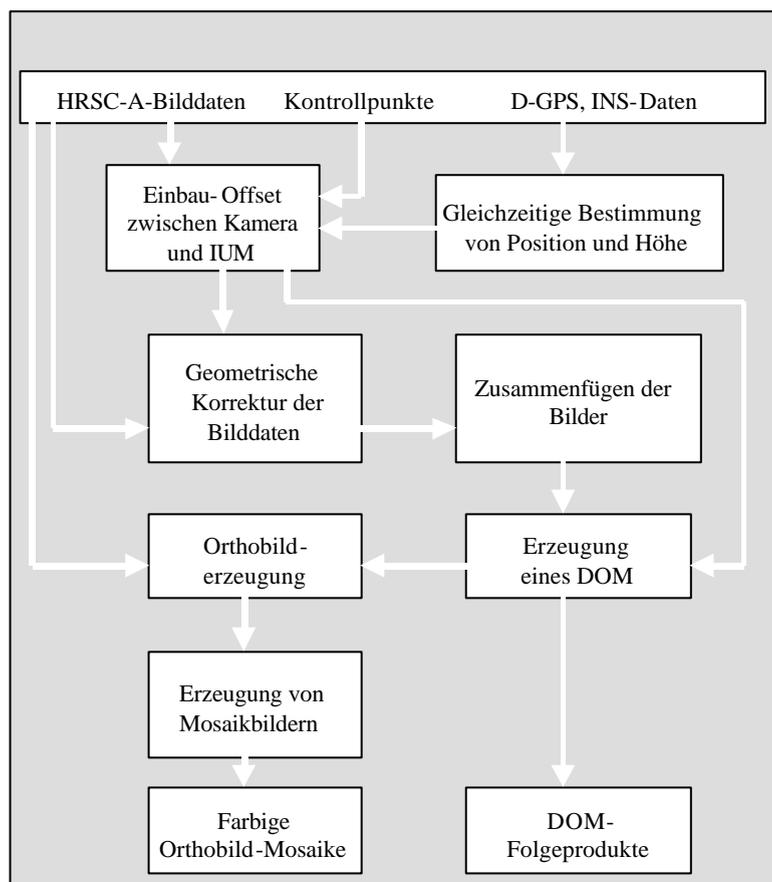


Abbildung 4-4 Photogrammetrische Prozessierlinie für die HRSC-A-Daten (geändert nach BIDO, I. LEHMANN, F., Berlin 2000)

4.3 Methodenentwicklung des IUW der Hochschule Vechta

Das Institut für Umweltwissenschaften der Hochschule Vechta wurde von der BfG beauftragt, eine Methodik zu entwickeln und zu erproben, die es erlaubt ausgewählte Biotoptypen weitestgehend automatisiert auf der Grundlage multispektraler Scannerdaten (HRSC-A) zu klassifizieren.

4.3.1 Nachkartierung der Biotoptypen in den Untersuchungsgebieten

Für eine überwachte multispektrale Klassifikation von Luftbildern werden genaue Bodendaten benötigt. Aus diesem Grund war es erforderlich, die aus der UVS vorliegende Biotoptypenkartierung (1993-1996) in den Testgebieten vor Ort zu prüfen und gegebenenfalls zu aktualisieren. Da das vorliegende hochgenaue Luftbildmaterial der HRSC-A-Befliegung zur Nachkartierung herangezogen werden konnte, zeigten sich bereits erste Vorteile dieser Technologie. Schwer zugängliche und kaum überschaubare Bereiche konnten sehr genau kartiert werden. Die exakte Georeferenzierung der HRSC-A-Daten und die hohe Auflösung beinhalten somit bereits bei einer manuellen Bearbeitung auf Grundlage dieser Daten eine bisher nicht erreichbare Lagegenauigkeit und einen sehr hohen Detaillierungsgrad der zu kartierenden Biotoptypen (siehe Abbildung 4-5).

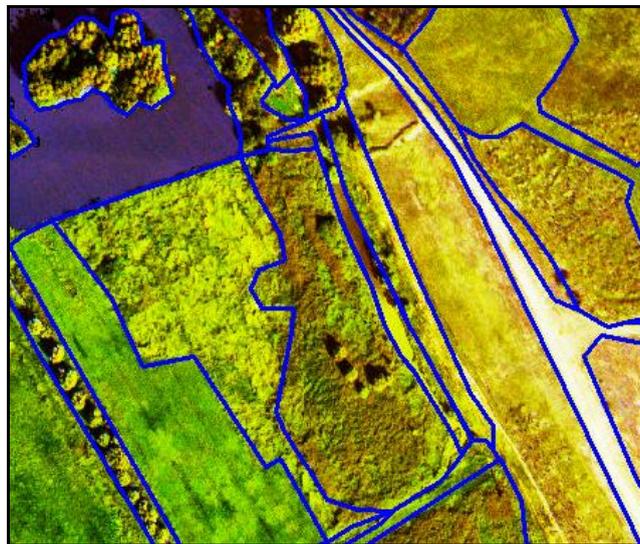


Abbildung 4-5 Echtfarbenähnliche Darstellung eines Ausschnitts der Insel Pagensand und manuell erstellte Flächenabgrenzungen (EHLERS, M., et al. Vechta 2000)

4.3.2 Grundlagen der entwickelten Methodik des IUW der Hochschule Vechta

Im folgenden wird der von der Hochschule Vechta entwickelte Verfahrensweg zur multispektralen Klassifikation von Biotoptypen auf Grundlage von HRSC-A-Daten beschrieben.

4.3.2.1 Datenaufbereitung

Vor der eigentlichen multispektralen Klassifikation wurden die von dem DLR der Hochschule Vechta gelieferten Daten (04. 11. 1999-Pagensand, 17. 11. 1999-Heuckenlock, 24. 11. 1999-Ilmenau) gesichtet und geprüft. Die einzelnen Spektralkanäle und das Digitale Oberflächenmodell wurden überarbeitet.

4.3.2.1.1 Mosaikierungsstreifen

Die übergebenen Daten wiesen in allen fünf Spektralkanälen deutliche Mosaikierungsstreifen auf, die eine multispektrale Klassifikation erheblich stören würden (siehe Abbildung 4-6).

Nach Angaben des DLR resultierten diese Streifen aus einer optimalen Histogrammanpassung für eine genaue Wasser-Land Unterscheidung. Für Pagensand wurden dann drei Kanäle (NIR, IR, PAN) nachprozessiert und verbessert (am 24. 11. 1999 an die Hochschule Vechta geliefert). Mit diesen Daten sind wesentlich bessere Klassifikationsergebnisse erzielt worden.

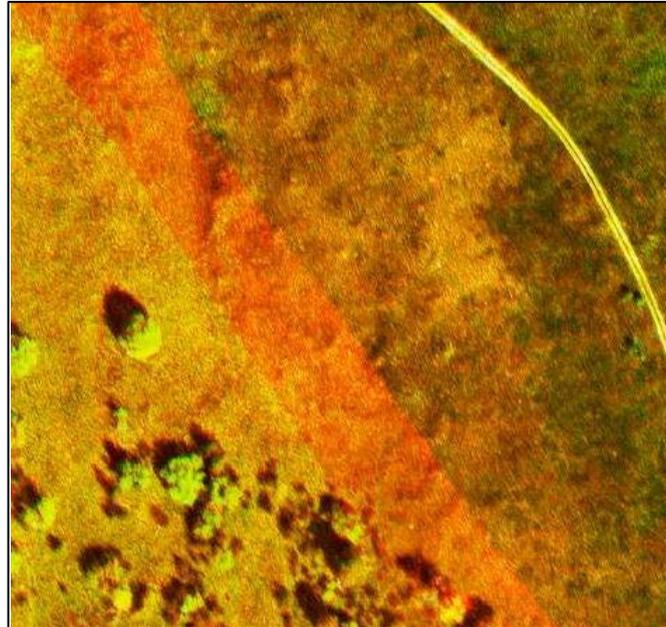


Abbildung 4-6 Sichtbare Mosaikierungsgrenzen der Flugstreifen (Daten der ersten Prozessierung - Ausschnitt Pagensand – Echtfarbenähnliche Darstellung) (EHLERS, M. et al., Vechta 2000)

4.3.2.1.2 Virtueller Roter Kanal

Wie bereits in Kapitel 3.2.1 beschrieben, besitzt die HRSC-A keinen echten roten Kanal (siehe auch Abbildung 4-7). Der Spektralbereich des für die Vegetationsklassifikation sehr wertvollen sichtbaren roten Bereichs wird von dem Nadir-Kanal (panchromatisch (PAN) $0,587 - 0,765\mu\text{m}$) abgedeckt. Durch Subtraktion des NIR (Nahes Infrarot, $0,729 - 0,771\mu\text{m}$) vom panchromatischen Spektrum und anschließender Eliminierung der entstanden Negativwerte wurden die Spektralinformationen des sichtbaren roten Bereichs extrahiert und ein sogenannter künstlicher oder virtueller Roter Kanal (VR) erzeugt.

Ein weiterer Versuch zur Erzeugung der „roten Information“ war die Farbraum-Transformation. Über die Transformation der Kanäle Pan, Grün und Blau aus dem RGB-Farbraum (Rot-Grün-Blau) in den IHS-Farbraum (Intensität-Helligkeit-Sättigung) und anschließender Retransformation in den RGB-Farbraum sollte eine Anpassung des Roten Kanals erzeugt werden. Dieser Ansatz zur Erzeugung eines virtuellen Roten Kanals erwies sich insbesondere zur Visualisierung als hilfreich, nicht jedoch zur Klassifizierung.

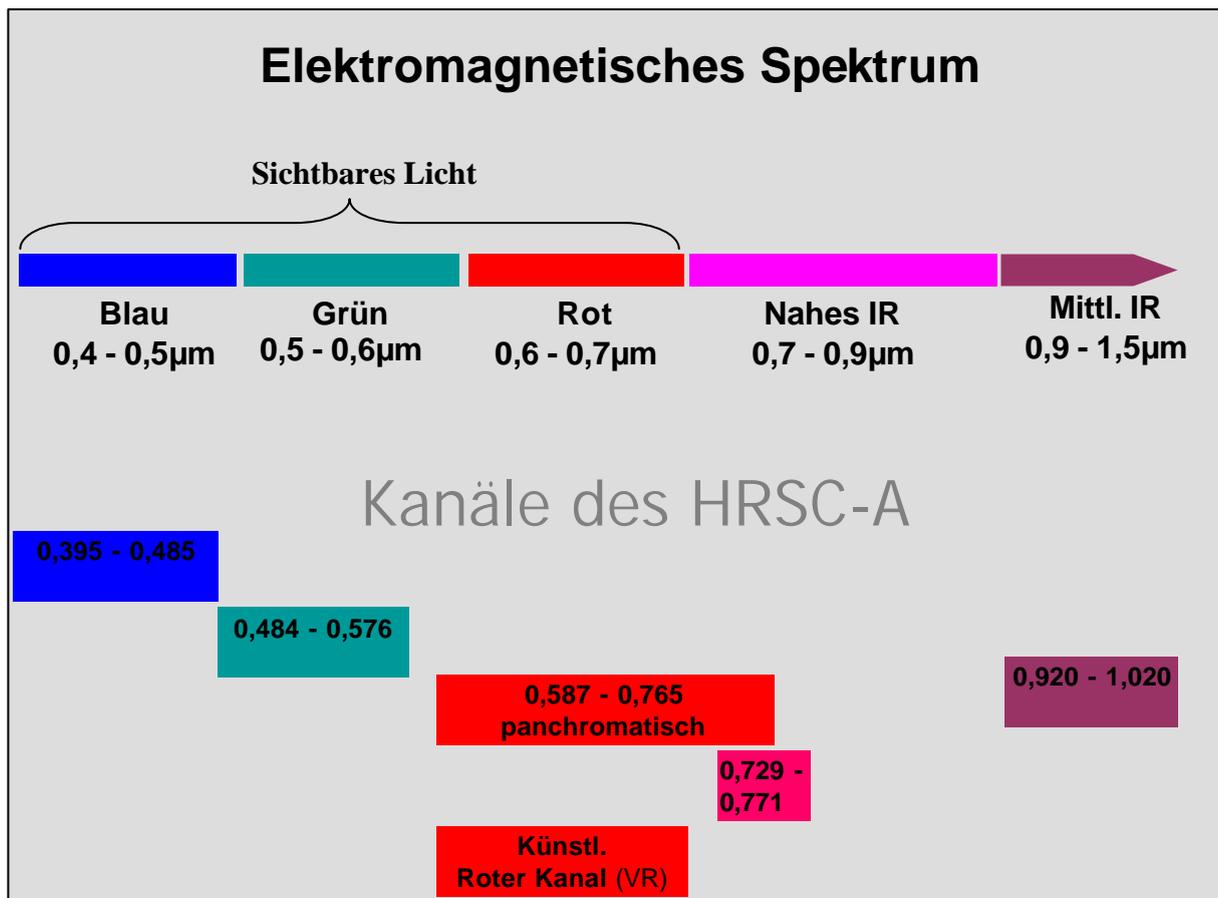


Abbildung 4-7 Berechnung eines virtuellen Roten Kanals (VR) (Ehlers, M. et al., Vechta 2000)

4.3.2.1.3 Einbeziehung der Höheninformation

Für die Orthobilderstellung sind die Höhendaten (siehe Kapitel 4.2.2), die der HRSC-A-Scanner aufnimmt, unerlässlich. Das dafür abgeleitete Digitale Oberflächenmodell sollte in die Biotoptypenklassifikation als zusätzliche Datenbasis mit aufgenommen werden.

Da es sich in den drei Untersuchungsgebieten um prinzipiell ebenes Gelände mit geringer Reliefenergie handelt, ist davon auszugehen, dass größere Differenzen in den Z-Werten des DOM auf Unterschiede in der Objekthöhe zurückzuführen sind. Für die Ausmaskierung von Wasserflächen und für die Trennung von hoher (>12m) und niedriger Vegetation ist demnach das DOM in diesem Gebiet als ausreichend anzusehen.

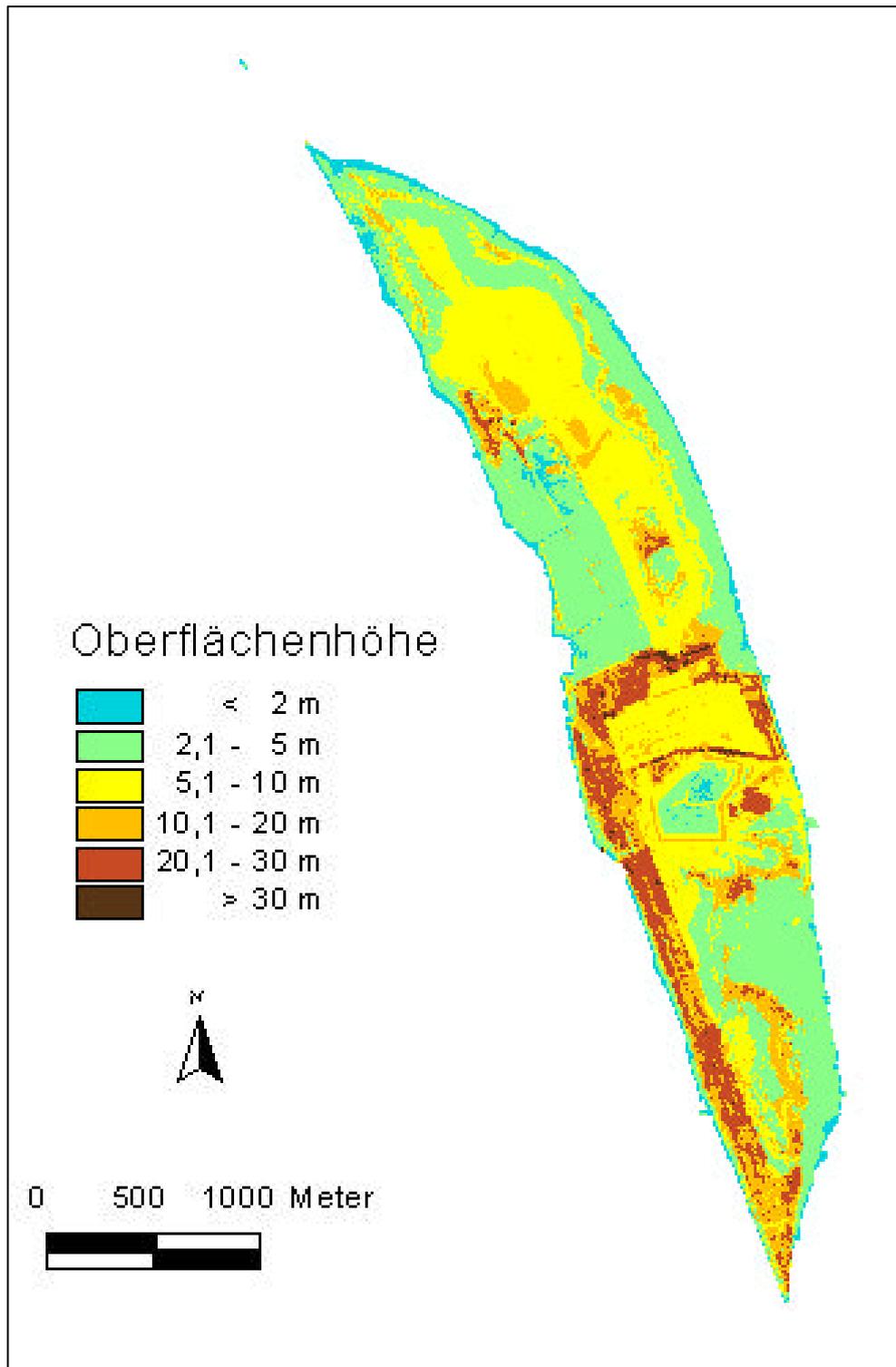


Abbildung 4-8 Digitales Oberflächenmodell der Insel Pagensand (Ehlers, M. et al., Vechta 2000)

4.3.2.1.4 Texturanalyse

Auf der Basis des panchromatischen Nadir-Kanals (sehr kontraststark) wurde eine Texturanalyse durchgeführt. Die Texturanalyse basiert auf der quantitativen Beschreibung von Texturwerten über die Ermittlung von Grauwertveränderungen innerhalb einer vorgegebenen Fläche (in diesem Fall 7x7 Pixel). Das Verhältnis des mittleren Pixels zu den Umliegenden wird durch die Varianz bestimmt.

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

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

n = Anzahl der Pixel im Untersuchungsfenster

M = arithmetisches Mittel aller Pixel im Untersuchungsfenster

Dieses Verfahren, angewendet mit einer Bodenauflösung von 30 cm, und eine zusätzliche Glättung zur Eliminierung von „Ausreißern“ kann bereits deutliche Differenzen der Bodenbedeckung sichtbar machen (siehe Abbildung 4-9).

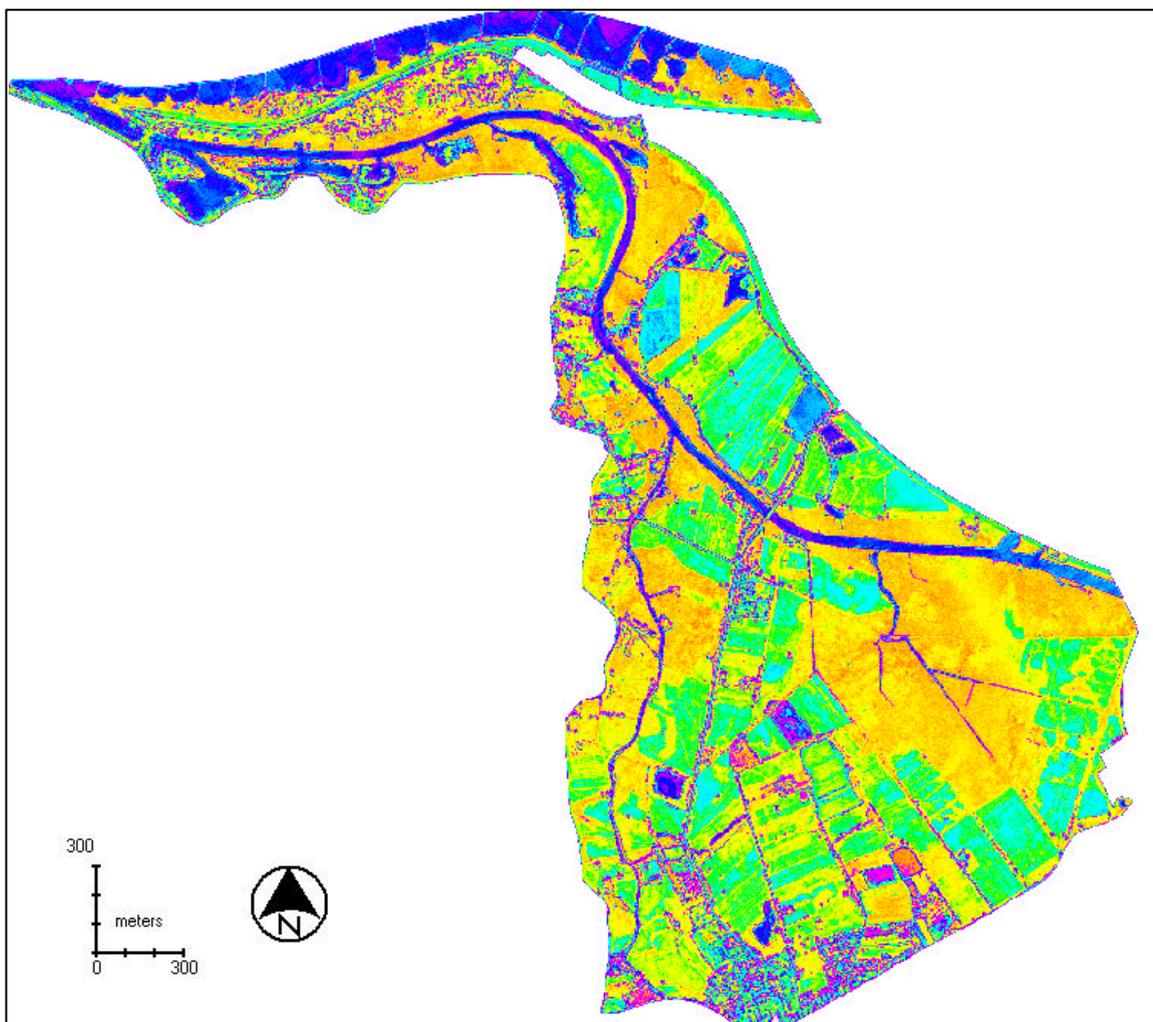


Abbildung 4-9 Berechnete Texturwerte, Gebiet Ilmenau-Mündung (Ehlers, M. et al., Vechta 2000)

Gelbe bis orange Flächen sind Bereiche mit ungeordneter und gröberer Textur (in diesem Beispiel kennzeichnend für Flusswatttröricht und Landrörichte). Blaue und grüne Bereiche deuten auf wesentlich glattere Grundtexturen hin (hier in erster Linie Wasser und Grünland). Die textuelle Auswertung allein konnte aber keine eindeutigen und befriedigenden Ergebnisse liefern. Deutlich bessere Resultate lassen sich aber in der kombinierten Auswertung von textueller und multispektraler Information erzielen.

Mittlerweile sind neue Programme auf den Markt (bisher aber nur in der Beta-Version), die auf der Basis von Fuzzy-Logic neue Möglichkeiten in der Texturanalyse versprechen.

4.3.2.2 Klassifikation

Auf Grundlage dieser vorbereiteten Datensätze wurde für die Klassifikation ein künstliches 7-kanaliges Bild errechnet. Eingang fanden die spektralen Kanäle Blau, Grün virtuelles Rot, nahes Infrarot, Infrarot sowie die Höheninformation des DOM und die Struktur.

4.3.2.2.1 Separierung von Masken und überwachte multispektrale Klassifikation

Zur Verbesserung der Klassifizierungsergebnisse wurden einzelne Bereiche homogener Charakteristik anhand typischer Merkmale ausmaskiert, um sie anschließend separat zu bearbeiten.

Aufgrund der Tatsache, dass die HRSC-A den spektralen Bereich des sichtbaren Rot nicht erfasst, sind die gängigen Vegetationsindizes trotz des virtuellen Roten Kanals auf das angewandte Verfahren nicht problemlos zu übertragen. Durch verschiedene Differenzbildungen der spektralen Kanäle und die Einbeziehung des DOM konnten jedoch verschiedene Masken separiert werden (siehe Abbildung 4-10).

Die Differenzbildung ergab zunächst drei Masken: Vegetation ohne Schatten, geringe Vegetation ohne Schatten und Schatten. Zudem wurde noch unter Verwendung des DOM die Vegetation ohne Schatten in niedrige und hohe Vegetation getrennt. Die so separierten Masken wurden anschließend gesondert klassifiziert.

Aufgrund der starken Mosaikierungsgrenzen im Gebiet Ilmenau, die durch optimale Histogrammanpassungen zur Trennung von Wasser- und Landflächen erklärt wurden, ist für diesen Bereich in Hinblick auf eine zügige Bearbeitung und in Anbetracht des Pilotcharakters des Projektes auf eine vollständige Klassifizierung verzichtet worden.

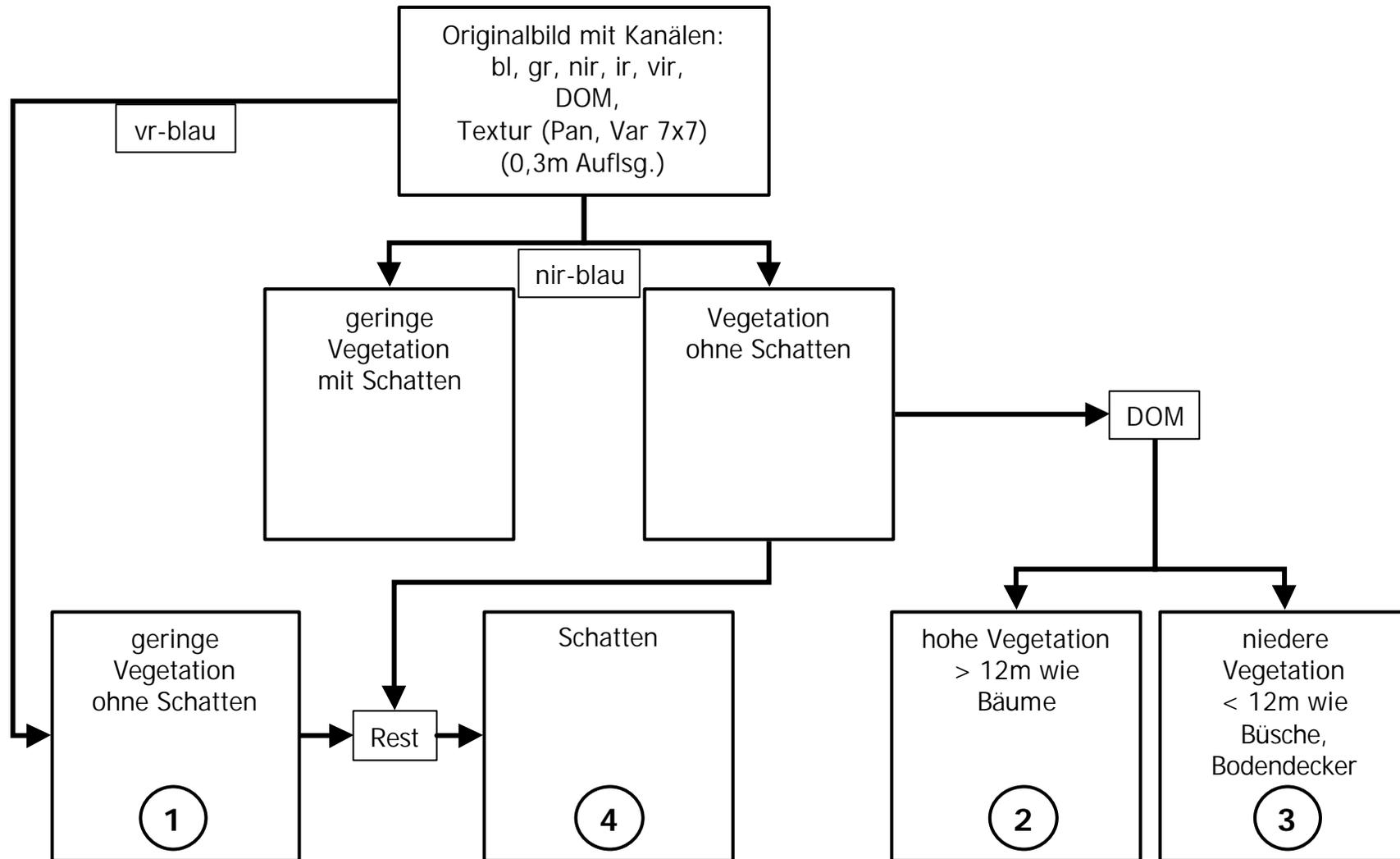


Abbildung 4-10 Schematischer Ablauf der Trennung der Informationen mit Hilfe von Indizes in Masken (Ehlers, M. et al., Vechta 2000)

Der Grundgedanke der überwachten Klassifikation ist, dass der Computer auf Grundlage eines bestimmten Algorithmus die Bildelemente extrahiert, die eine definierte Kombination von Farbwerten aufweisen, wie die Bildelemente zuvor abgegrenzter Muster.

Zur Anwendung kam der in der Fernerkundung am häufigsten eingesetzte Algorithmus der digitalen Klassifizierung: Der Maximum-Likelihood-Klassifikator. Der Algorithmus ist ein statistischer Ansatz und geht davon aus, dass eine Objektklasse Farbwerte mit einer Gauss'schen Normalverteilung um den entsprechenden Mittelwert aufweist (vgl. HILDEBRANDT, G., Heidelberg 1996). Demzufolge wurden auf Grundlage der Biotoptypenkartierung von 1999 verschiedene Trainingsgebiete festgelegt. Die genaue räumliche Abgrenzung der Trainingsgebiete (Bildung von homogenen Flächen über die Ähnlichkeit der Pixelwerte) wurde über ein Berechnungsverfahren (maximale Abweichung zu einem Referenzpixel; bestimmt durch die Euklidische Distanz) festgelegt. Die manuell gezeichneten Grenzen der Biotoptypenkartierung würden aufgrund ihrer Generalisierung zwangsläufig zu Verfälschungen führen. Die Abweichungen durch die Flugstreifen waren teilweise so stark, dass für verschiedene Streifen auch entsprechende Trainingsgebiete festgelegt werden mussten.

Für das Gebiet Heuckenlock wurden die Trainingsgebiete nur visuell und über die Bildung homogener Flächen festgelegt. Die konkrete Zuweisung der ermittelten Klassen zu bestimmten Biotoptypen erfolgte zunächst nur über den Vergleich von Spektralcharakteristika der ermittelten Klassen mit den Ergebnissen der mit Bodenkontrollen auf Pagensand identifizierten Biotoptypenklassen (siehe Abbildung 4-11). Anschließend wurden die Ergebnisse mit der Kartierung der UVS abgestimmt.

Eine Kombination der spektralen Kanäle

- Blau,
 - Grün,
 - Virtuelles Rot,
 - Nahes Infrarot und
 - Mittleres Infrarot
- sowie des
- DOM und der
 - Struktur

erzielten die besten Klassifikationsergebnisse. Die Klassifikation wurde mit einer Pixelauflösung von 120 cm vorgenommen. Die Ausmaskierung machten jedoch z.T. Auflösungen von 30 cm erforderlich.

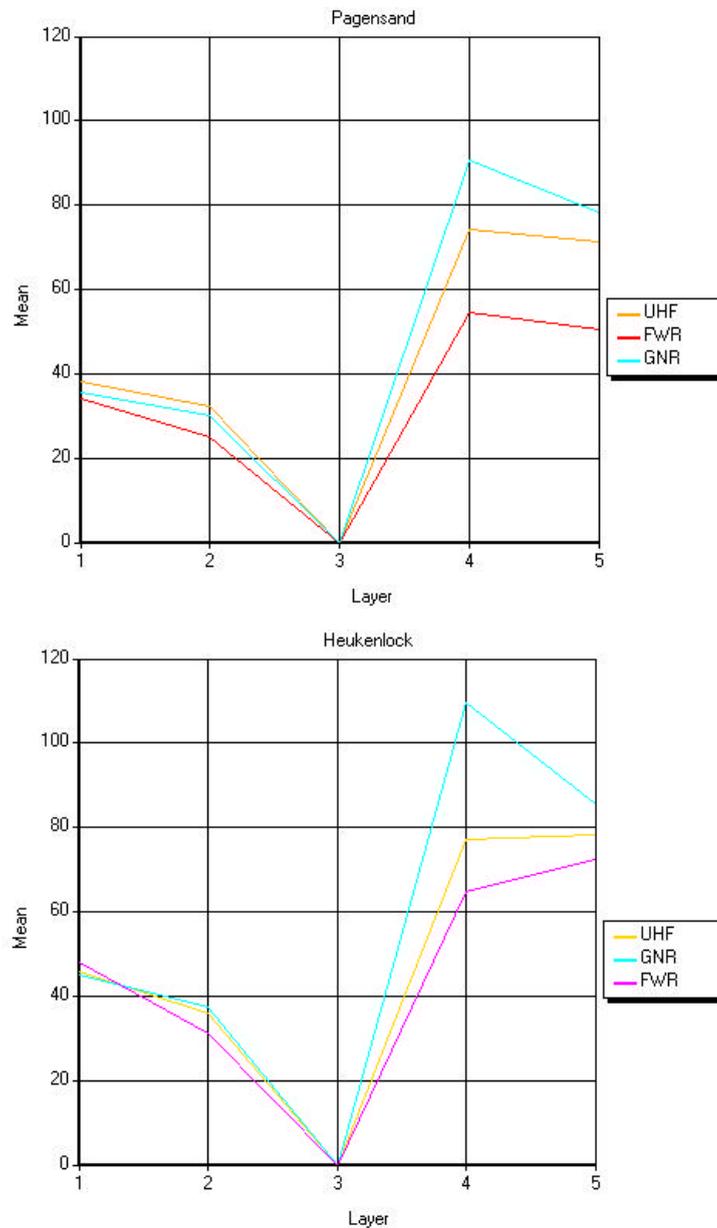


Abbildung 4-11 Vergleich der Spektralverläufe von ausgewählten Biotoptypen (Ehlers, M. et al., Vechta 2000)

4.3.2.2.2 Aufbereitung der Klassifikationsergebnisse

Die hohe Auflösung der HRSC-A führt dazu, dass selbst kleinste Einheiten klassifiziert werden. Eine erste Generalisierung erfolgte durch die Klassifizierung mit einer Pixelauflösung von 120 cm. Kleinste „Inseln“ innerhalb eines Biotoptyps stellen selbst aber nicht unbedingt einen eigenen Biotoptyp dar. Deswegen wurden zusätzlich für verschiedene Biotoptypen Mindestflächengrößen festgelegt. Zunächst wurden mit einem „FOCAL-MAJORITY-Filter (3x3) Einzelpixel eliminiert (siehe Abbildung 4-12). Danach wurden benachbarte Pixel mit dem gleichen Wert zusammengefasst und deren Größe bestimmt.

Flächen, die nicht den geforderten Mindestgrößen entsprachen, wurden eliminiert bzw. aufgefüllt.



Abbildung 4-12 Funktionalität des Focal-Majority-Filters (Ehlers, M. et al., Vechta 2000)

Für niedrige Bestände wurde eine Mindestfläche von 30 m² vorgegeben. Höhere Bestände, also Wald bzw. Bäume, wurden mit Hilfe der Höhenmaske in Wald (=200 m²) und Einzelbäume (=20 m² und <200 m²) separiert.

Die einzelnen Ergebnisse mit unterschiedlichen Informationen wurden danach zusammengeführt. Um Mehrfachbelegungen bei der Überlagerung der einzelnen Teilergebnisse zu verhindern wurden Prioritäten mit folgender absteigender Gewichtung festgelegt:

- Einzelbäume
- (Sand-)Wege
- Schilf- und Strandsimsenbestände
- Restliche niedere Vegetation
- Hohe Vegetation >200 m²
- Restliche geringe Vegetation
- Schatten

Eine letzte Hürde war die Auffüllung der übriggebliebenen Schattenbereiche. Durch die Verwendung der Höhenmaske konnten Schattenbereiche über 12 m mittels einer Majority-Filterung den Biotoptypen der Einzelbäume und der Waldflächen zugeordnet werden und die Schattenbereiche unter 12 m wurden entsprechend den Biotoptypen der niedrigen Vegetation zugeordnet. Die Ergebnisse dieser Filterung spiegeln die realen Grenzverläufe sehr gut wieder.

Ein Überblick über den Klassifikationsablauf zeigt Abbildung 4-13.

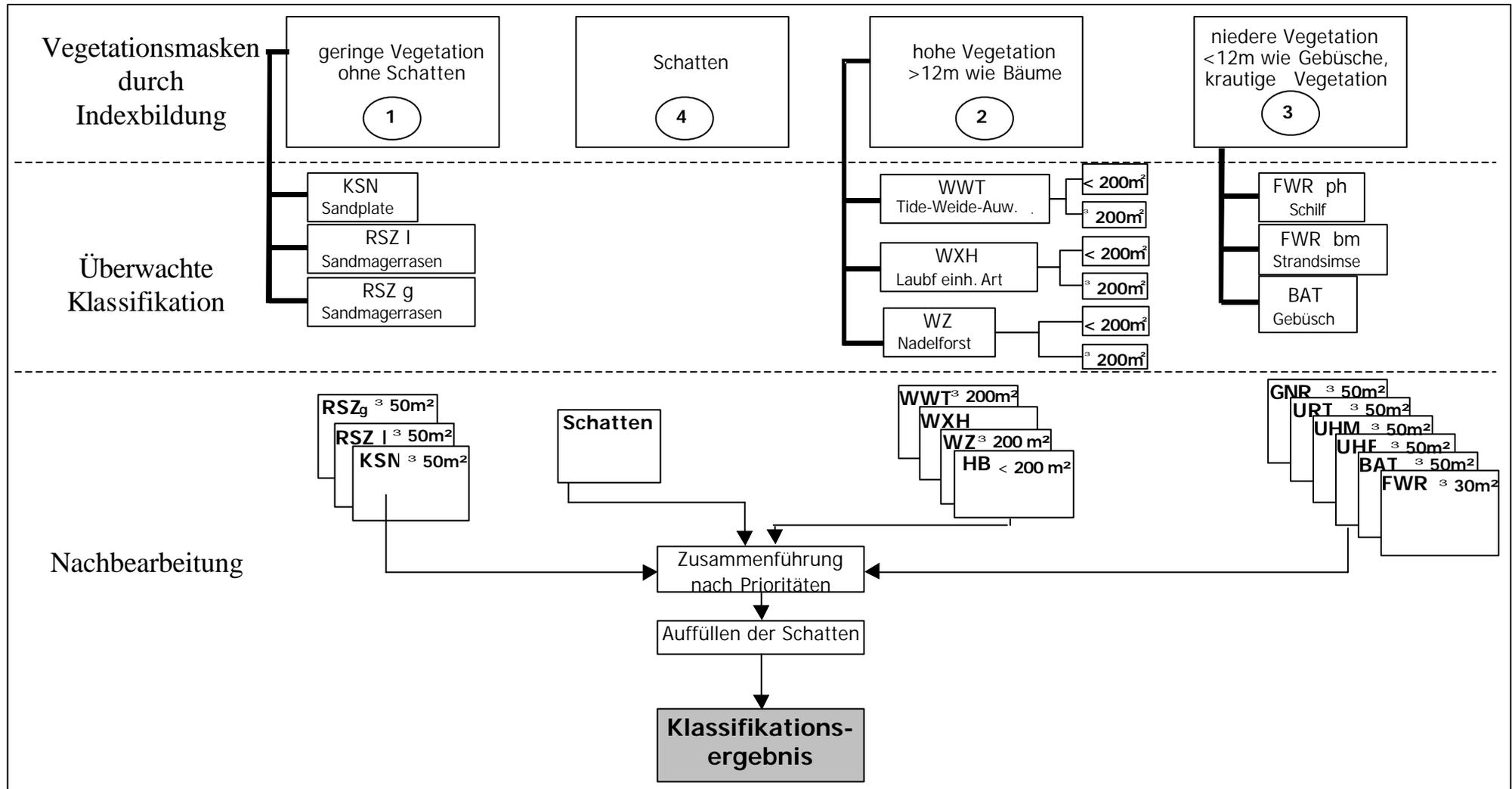


Abbildung 4-13 Darstellung des Klassifikationsablaufes und der Zusammenführung (Ehlers, M. et al., Vechta 2000)

5 Ergebnisse des Pilotprojekts

5.1 Eignung HRSC-Scanner

Das Pilotprojekt zeigt, dass

- der Einsatz des HRSC-Scanners grundsätzlich für eine Biotoptypenerfassung geeignet ist und entscheidende Vorteile gegenüber den nur analog auszuwertenden CIR-Aufnahmen hat
- es möglich ist, auf der Grundlage von digitalen hochauflösenden multispektralen HRSC-Befliegungsdaten eine teilweise automatisierte Klassifizierung von Biotoptypen vorzunehmen
- die lagemäßige Genauigkeit und der Detaillierungsgrad der Klassifizierung sehr hoch ist
- eine weitgehende Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Trainingsgebieten auf vergleichbare Flächen prinzipiell möglich ist
- diese Fernerkundungsmöglichkeit sehr gut geeignet ist für eine flächenscharfe Abgrenzung von Biotoptypen in sehr großen, schwer überschaubaren oder schwer zugänglichen Gebieten
- immer wieder auf die Grunddaten zurückgegriffen werden kann und somit Aussagen jederzeit nachvollziehbar belegt werden können.

Für die beiden Testgebiete Pagensand und Heuckenlock sind die Ergebnisse ausschnittsweise in den Karten Anlage A4 und Anlage A5 dargestellt.

Durch die Bearbeitung der Daten in einem Geographischen Informationssystem (GIS) können

- Veränderungen hinsichtlich einer oder mehrere Folgeaufnahmen genauestens dokumentiert werden
- ein digitaler Vergleich einer oder mehrerer Folgeaufnahmen sehr schnell durchgeführt werden.

Das Pilotprojekt zeigt aber auch, dass bei Anwendung einer solchen Methodik der Biotoptypenkartierung dennoch grundsätzlich nicht auf ergänzende Geländearbeiten durch qualifizierte Vegetationskundler verzichtet werden kann. Differenzierte und komplexe Zusammenhänge in der Natur sind nur vor Ort von erfahrenden Personal genau bestimmbar.

5.2 Vergleich UVS-Kartierung – HRSC-Befliegung

Ein weiteres wichtiges Ergebnis hinsichtlich der Beweissicherung im Rahmen des Vorhabens „Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe“ ist u. E. die Tatsache, dass die Biotoptypenkartierungen der UVS – die teilweise auch auf damals aktuelle Farb-Luftbilder zurückgegriffen hat - und der HRSC-gestützten Kartierungen der beiden Testgebieten Pagensand und Heuckenlock z. T. große Differenzen aufweisen. In anderen Bereichen der Testgebiete sind dagegen die Übereinstimmungen sehr hoch.

Diese Differenzen haben verschiedene Ursachen, führen u. E. aber dazu, dass sich die Kartierung der UVS von 1993 - 1996 nicht oder nur sehr bedingt als Grundlage für eine flächengenaue Beweissicherung heranziehen lässt.

Ursachen sind u. a.

- eine natürliche Dynamik/ Sukzession von verschiedenen Vegetationsbeständen, z. B. die Weiterentwicklung von Gebüsch zu waldartigen Beständen oder die starke Zunahme von Röhrichten auf der Ostseite der Insel Pagensand (siehe Abbildung 5-1)
- generalisierte Abgrenzungen in den oftmals nur sehr schwer einsehbaren Vegetationsbeständen in Uferbereichen, in denen weder die topographischen Kartengrundlagen eine exakte Flächenzuordnung erlaubte, noch durch die damals verwendeten Farb-Luftbilder, eine größere Genauigkeit erreicht werden konnte, da diese Luftbilder nicht koordinatengetreu sind
- anthropogene Veränderungen (Anlage des Spülfeldes, Aufgabe der landwirtschaftlichen Nutzung auf der Insel Pagensand)
- Übertragungsungenauigkeiten beim Digitalisieren der Feldunterlagen

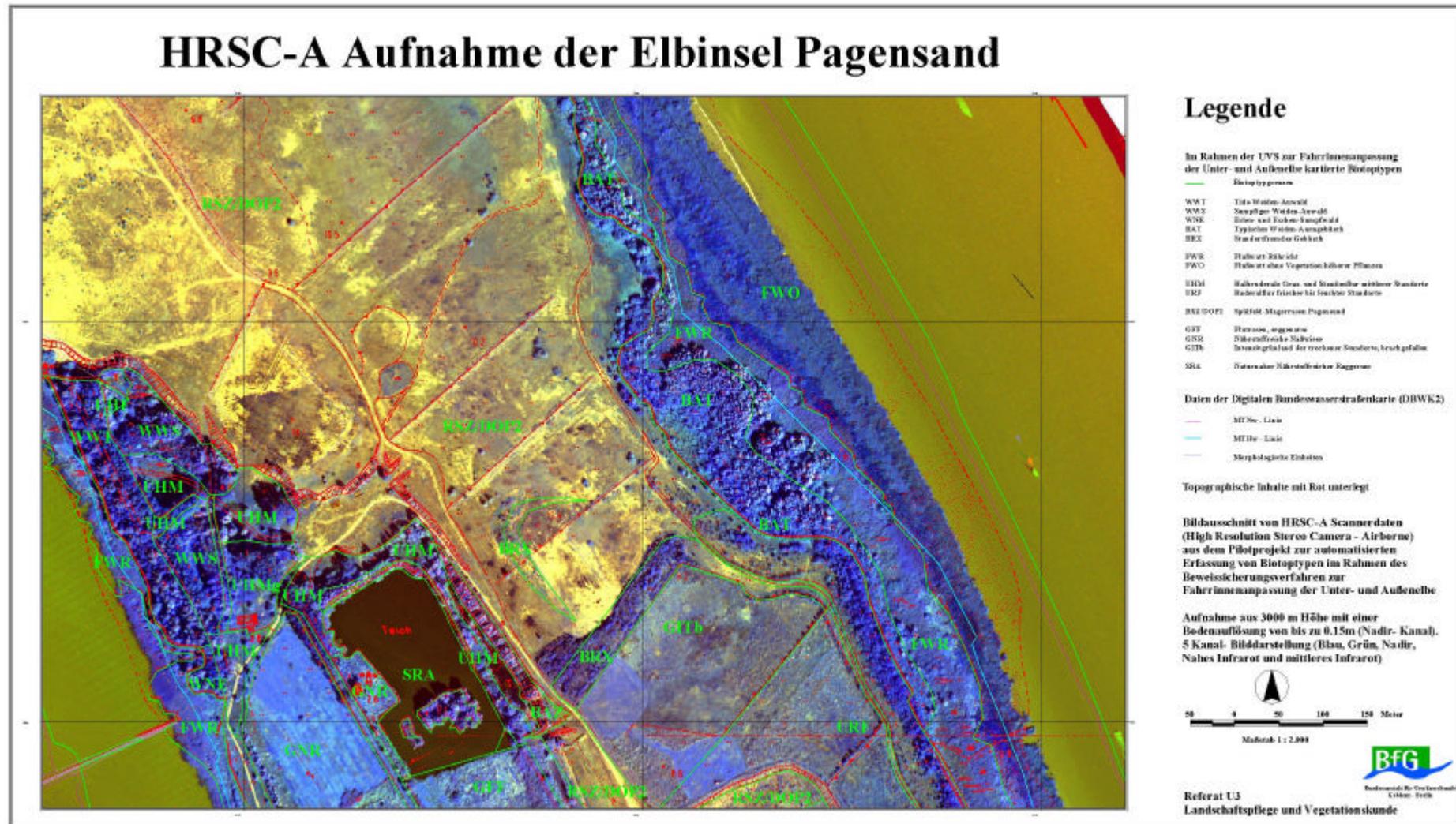


Abbildung 5-1 HRSC-A-Aufnahme der Insel Pagensand überlagert mit der DGK5 (rot) und der Biotoptypenkartierung der UVS (grün)

Die Differenzen zwischen der UVS-Kartierung 1993 - 1996 und der Klassifikation 1999 für den Ausschnitt des Gebietes Heuckenlock betragen nach Hochschule Vechta z. T. bis etwa 14% (vgl. Karte Anlage A5 und Tabelle 5-1).

| | Kartierung 1993 - 1996 Flächenanteil in % | Klassifikation 1999 Flächenanteil in % |
|--|--|---|
| Weiden-Auwald/ Tide-Weiden-Auwald | 45,5 | 31,4 |
| Schilf-Röhricht/ Flusswatt-Röhricht | 51,0 | 62,4 |

Tabelle 5-1 Vergleich der UVS-Kartierung 1993 - 1996 und der Klassifizierung 1999 (verändert nach EHLERS, M. et al., Vechta 2000)

Die Unterschiede stellen dabei im wesentlichen Verschiebungen der Anteile innerhalb der beiden Biotoptypen dar und sind vor allem mit der Generalisierung in dem sehr schwer überschaubaren, unwegsamen Vorland des Naturschutzgebietes Heuckenlock zu erklären.

Hinweis:

Die Kartierungen wurden so genau durchgeführt, wie es die Aufgabenstellung erforderte und die damaligen Möglichkeiten erlaubten. Sie würden auch heute bei der gleichen Vorgehensweise zu den gleichen Ungenauigkeiten führen. Deshalb muss an dieser Stelle aus fachlicher Sicht klargestellt werden, dass diese Ungenauigkeiten der UVS-Kartierung keinesfalls dem damaligen Bearbeiter angelastet werden dürfen oder die Qualität der UVS in Frage stellen.

5.3 Erkenntnisse hinsichtlich künftiger Befliegungen:

Aus dem Pilotprojekt lassen sich darüber hinaus weitere Ergebnisse z. B. für künftige Befliegungen ableiten.

- Der Befliegungszeitpunkt hat sich an der optimalen Erkennungsphase der hauptsächlich zu untersuchenden Vegetationsbestände auszurichten. Für das Schilf-Röhricht ist die Zeit Ende Juli optimal. Der Befliegungszeitpunkt im Rahmen des Pilotprojektes lag 1999 zu spät. Einige Gehölzbestände hatten in diesem trockenen Jahr bereits stark das Laub abgeworfen und zeigten somit nicht mehr die typische Spektralerkennung der Bäume, sondern bereits mehr den Unterwuchs.
- Auch die sonstigen Randbedingungen der Befliegung müssen besser eingehalten werden, wie z. B. die Niedrigwasserstände, die Tageszeit. Dies erfordert eine rechtzeitige Auswahl möglicher „Tidefenster“, um in Abhängigkeit von den Wetterverhältnissen auch Ausweichmöglichkeiten zu haben.
- Um Mosaikierungsstreifen möglichst zu vermeiden muss von vorne herein Wert auf eine optimale Histogrammanpassung für die jeweilige Aufgabenstellung gelegt werden, d. h., es muss von konstanten Beleuchtungssituationen innerhalb der einzelnen Flugstreifen ausgegangen werden.
- Als Darstellungsgenauigkeit der Pixel-Auflösung im Rahmen der Biotoptypenerfassung ist ein Wert von 0,3 m * 0,3 m ausreichend, d. h., beim Einsatz des HRSC-A-Scanners kann künftig eine Flughöhe von etwa 6000 m anstelle der 3000 m im Pilotprojekt gewählt werden. Der neue HRSC-Scanner (HRSC-AX) weist ein noch größeres



Auflösungsvermögen auf. Damit sind breitere Flugstreifen bei gleicher Auflösung möglich, d.h., weniger Flugstreifen für ein bestimmtes Bearbeitungsgebiet, und somit auch geringere Kosten.

Teil III

Folgerungen für die Beweissicherung

6 Auswahl eines geeigneten Verfahrens zur Biotoptypenkartierung im Rahmen der Beweissicherung

6.1 Allgemeines

Im Planfeststellungsbeschluss wird – wie bereits erwähnt – eine Überprüfung der Prognosen hinsichtlich der gefährdeten Biotoptypen Weidenauwald, Weidengebüsch, Röhrichte und Uferstaudenfluren im Rahmen der Beweissicherung gefordert. Als mögliche Verfahren der Erfassung werden eine Begehung/ Kartierung und/ oder CIR-Befliegung sensibler Bereiche genannt. Die Möglichkeit einer HRSC-Befliegung war zum Zeitpunkt des Planfeststellungsbeschlusses noch nicht bekannt.

Wie die Ergebnisse des Pilotprojektes zeigen, sind in den ausgewerteten Testgebieten Pagensand und Heuckenlock aus unterschiedlichen Gründen die Veränderungen der Kartierung für die UVS „Fahrrinnenvertiefung der Unter- und Außenelbe“ von 1993-1996 im Vergleich zum heutigen Zustand teilweise sehr groß. Es stellt sich daher die grundsätzliche Frage, ob auf der Grundlage der Biotoptypenkartierung der UVS überhaupt die dort getroffenen Prognoseaussagen überprüft werden können und somit den diesbezüglichen Auflagen aus dem Planfeststellungsbeschluss nachgekommen werden kann. U. E. ist dies nicht möglich, da im Planfeststellungsbeschluss wegen der relativ großen prognostizierten Biotopflächenverluste bei relativ geringen Wasserstandsänderungen (Änderung des MThw um max. 4 cm) auch hohe Genauigkeitsansprüche gefordert sind.

Aus fachlicher Sicht der BfG müsste deshalb - nachdem 1999 die Fahrrinnenvertiefung abgeschlossen werden konnte - in diesem Jahr, d.h., im Jahr 2000, in dem sich mit Sicherheit noch keine von der Fahrrinnenvertiefung verursachten Wasserstandsänderungen auf die Biotoptypen auswirken konnten, eine neue Null-Kartierung/ Nullbefliegung durchgeführt werden. Diese Daten würden dann die Grundlage für den Vergleich im Rahmen einer weiteren Kartierung/ Befliegung nach 2 Jahren bzw. weiteren Jahren bilden.

Eine flächenhafte Erfassung der vom Vorhaben besonders betroffenen Biotoptypen muss etwa zwischen der Störmündung und dem Wehr Geesthacht erfolgen. Die betroffenen Biotoptypen verteilen sich teils großflächig (z. B. Bereich Auberg, Drommel, Insel Pagensand), teils sehr kleinflächig in Form schmaler Uferstreifen über das gesamte Gebiet, d.h., auch die Nebenflüsse. Es wären also nochmals sehr große Bereiche zu erfassen und darzustellen, um die Prognosen der UVS auch wirklich überprüfen zu können. Lediglich einzelne Ausschnitte oder Transekte zu betrachten ist u. E. dazu nicht geeignet, da sich an anderer, nicht betrachteter Stelle die Veränderungen ganz anders darstellen können, Auswirkungen sich möglicherweise verstärken oder aufheben können.

Zur Entscheidungsfindung über die Art der künftigen Vorgehensweise soll auch ein Kostenvergleich durchgeführt werden. Der Kostenvergleich beschränkt sich auf die beiden nachfolgenden – allerdings sehr unterschiedlichen - Möglichkeiten einer flächenhaften Erfassung, nämlich der

- Kartierung im herkömmlichen Sinne, wie sie im Rahmen der UVS zur Fahrrinnenvertiefung der Unter- und Außenelbe stattgefunden hat und die
- Digitale Erfassung durch HRSC-Befliegung,

nachdem die im Planfeststellungsbeschluss erwähnte CIR-Befliegung für eine digitale Erfassung nicht geeignet ist und deshalb nicht weiter in Betracht gezogen wird.

6.2 Methoden- und Kostenvergleich: Herkömmliche Kartierung – HRSC-Befliegung

6.2.1 Herkömmliche Kartierung

Bei der herkömmlichen Kartierung werden im Rahmen von Begehungen des zu kartierenden Gebietes die dort vorkommenden Biotoptypen vom Bearbeiter in entsprechende Kartenunterlagen eingetragen und anschließend im Büro zeichnerisch weiterbearbeitet. Damit die teilweise sehr unüberschaubaren und damit von Land oder Wasser her nicht abgrenzbaren Auwald- oder Röhrichtbereiche dennoch möglichst flächenscharf erfasst werden können, ist auch bei einer Kartierung im herkömmlichen Sinne eine zusätzliche Luftbildbefliegung zur Unterstützung der fachlichen Aussagen erforderlich. Dies geht auch aus einer Stellungnahme des UVS-Gutachters Dr. Kurz vom 02. 05. 2000 hervor, der im Rahmen der UVS-Kartierung von 1993-1996 auf Luftbilder zurückgreifen musste, um insbesondere in den Uferbereichen die Abgrenzung der Biotoptypen vornehmen zu können. Die Notwendigkeit, Luftbilder zur Auswertung mit heranzuziehen, wird auch durch Erfahrungen der BfG aus anderen aktuellen Vorhaben bestätigt.

Nach der UVS bzw. den Darstellungen im Planfeststellungsbeschluss sind etwa 1370 ha Röhricht und 588 ha Auwaldflächen (zusammen ca. 2000 ha) in den Gebieten mit prognostizierten Wasserstandsänderungen, d.h., im gesamten Gebiet etwa elbaufwärts der Störmündung, vorhanden. Diese Flächen gilt es zu überprüfen. Das Gebiet der Freien und Hansestadt Hamburg ist allerdings auszuklammern, da hierfür eine eigene Beweissicherung vorgesehen ist.

Die ursprünglich im Rahmen der UVS entstandenen Kosten für die Biotoptypen-Kartierungen der einzelnen Bereiche (Untersuchungsgebiet der UVS, Erweiterungsgebiet) betragen ca. 435.000,00 DM, inkl. der Überführung der Daten in ein CAD-System, Nebenkosten und Mehrwertsteuer. Dies entspricht einem Bruttopreis von ca. 2107,00 DM/km² Biotoptypenkartierung.

Bei einer aktuellen, im Jahr 1999 im Rahmen des Planänderungsverfahrens durchgeführten Kartierung lag der vergleichbare Bruttopreis im Minimum bei ca. 2628,00 DM/ km² (ca. 2.200 DM/km² netto). Dieser Kostenansatz wird den weiteren Betrachtungen in den Tabellen 6-1 bis 6-3 zu Grunde gelegt.

Wie bereits erläutert, müsste aus fachlicher Sicht der BfG auch für eine Kartierung im herkömmlichen Sinne im Jahr 2000 eine Neuaufnahme der Biotoptypen erfolgen, da die ursprüngliche Biotoptypenaufnahme aus den o.a. Gründen nicht als Vergleich für Veränderungen aus diesem Vorhaben herangezogen werden kann.

Nachdem auch für die herkömmliche Kartierung eine Befliegung erforderlich ist, wird von folgender Vorgehensweise ausgegangen, die eine Erleichterung für die Kartierung im Gelände und eine Verbesserung der Genauigkeit bedeutet: Durchführung einer Befliegung und Erstellung von Luftbildplänen als Grundlage für die Kartierungen im Gelände, die Geländebegehung und Kartierung der Biotoptypen, die anschließende Digitalisierung der in die Luftbildpläne eingetragenen Kartierungen sowie die Aufbereitung der Daten für ein GIS.

Die Kartierung im herkömmlichen Sinn kann nun nochmals differenziert werden in eine

- Kartierung, die etwa der Vorgehensweise der Kartierung für die UVS entspricht und somit nach den aktuellen Ergebnissen des Pilotprojekts eine große Ungenauigkeit aufweist (Variante 1a)
- Kartierung, die etwa der Vorgehensweise der Kartierung für die UVS entspricht, bei der die verwendeten Luftbilder jedoch bereits georeferenziert sind und somit eine größere Genauigkeit aufweisen (Variante 1b) und schließlich eine
- Kartierung, die etwa der Vorgehensweise der Kartierung für die UVS entspricht, bei der die verwendeten Luftbilder (digitale Orthobilder) eine der HRSC-Befliegung nahekommende Genauigkeit aufweisen (Variante 1c).

Die Unterschiede zwischen den 3 Varianten bestehen also im wesentlichen in der Genauigkeit der Kartierungsgrundlage und somit der Genauigkeit der Kartierungsergebnisse.

Für die folgende Kostenermittlungen wurde davon ausgegangen, dass zusätzlich zu den betroffenen Biotoptypen mit einem Flächenumfang von ca. 2000 ha, das sind ca. 20 km² – die sich über ein ca. 100 km² großes Gebiet verteilen – ca. weitere 10 km² angrenzende Randflächen mit erfasst werden müssen. Die Nebenflüsse werden dabei, da sie nur einen geringen Flächenanteil der betroffenen Biotoptypen beinhalten, zur Vergleichbarkeit mit der HRSC-Befliegung außer acht gelassen. Die Befliegung muss allerdings für das ca. 100 km² große Gebiet erfolgen.

| Arbeitsschritte: | Null-Kartierung | Folge-Kartierung |
|---|--------------------------|--------------------------|
| Luftbildbefliegung (ca. 100 km ²) einschl. anfertigen farbiger Luftbildpläne | ca. 25.000,00 DM | ca. 25.000,00 DM |
| Geländebegehung und Kartierung (ca. 30 km ²) einschl. digitalisieren der Kartierung | ca. 66.000,00 DM | ca. 66.000,00 DM |
| Scannen und georeferenzieren der Luftbilder | 0 DM | 0 DM |
| Aufbereiten der Karten für ein GIS | ca. 10.000,00 DM | ca. 10.000,00 DM |
| Gesamtkosten: | ca. 101.000,00 DM | ca. 101.000,00 DM |

Tabelle 6-1 Kosten der Kartierung nach UVS (Variante 1a)

| Arbeitsschritte: | Null-Kartierung | Folge-Kartierung |
|---|--------------------------|--------------------------|
| Luftbildbefliegung (ca. 100 km ²) einschl. anfertigen farbiger Luftbildpläne | ca. 25.000,00 DM | ca. 25.000,00 DM |
| Geländebegehung und Kartierung (ca. 30 km ²) einschl. digitalisieren der Kartierung | ca. 66.000,00 DM | ca. 66.000,00 DM |
| Scannen und georeferenzieren der Luftbilder * | ca. 85.000,00 DM | ca. 85.000,00 DM |
| Aufbereiten der Karten für ein GIS | ca. 10.000,00 DM | ca. 10.000,00 DM |
| Gesamtkosten: | ca. 186.000,00 DM | ca. 186.000,00 DM |

* hochgerechnet nach Kostenangaben der BfG für ca. 8 km Flusslänge für die „Reststrecke“ der Elbe

Tabelle 6-2 Kosten der Kartierung nach UVS (Variante 1b)

| Arbeitsschritte: | Null-Kartierung | Folge-Kartierung |
|---|--------------------------|--------------------------|
| Luftbildbefliegung (ca. 100 km ²) einschl. anfertigen farbiger Luftbildpläne, Passpunkte im Gelände setzen, Aerotriangulation, Stereoauswertung der Lage und der Höhe. * | ca. 400.000,00 DM | ca. 400.000,00 DM |
| Geländebegehung und Kartierung (ca. 30 km ²) einschl. digitalisieren der Kartierung | ca. 66.000,00 DM | ca. 66.000,00 DM |
| Scannen und georeferenzieren der Luftbilder | 0 DM | 0 DM |
| Aufbereiten der Karten für ein GIS | ca. 10.000,00 DM | ca. 10.000,00 DM |
| Gesamtkosten: | ca. 476.000,00 DM | ca. 476.000,00 DM |

* hochgerechnet auf der Grundlage von Kostenangaben des WSA HH für die Herstellung der DBWK für ca. 20 km oberer Tideelbe von Hamburg bis Wehr Geesthacht

Tabelle 6-3 Kosten der Kartierung nach UVS (Variante 1c)

6.2.2 HSRC – Befliegung

Im Gegensatz zur herkömmlichen Kartierung erfolgt bei der HSRC – Befliegung die Aufnahme digital und die Auswertung kann - wie das Pilotprojekt gezeigt hat – bis zu einem gewissen Grad automatisiert werden. Aber auch bei einer HSRC – Befliegung kann nicht auf Arbeiten im Gelände verzichtet werden. Es müssen hierbei in repräsentativen Bereichen die Biotoptypen erfasst und validiert werden. Die Geländearbeiten werden deshalb zumindest für eine Null-Befliegung noch relativ hoch sein. Im Rahmen der weiteren Befliegung(en) wird sich dieser fachliche personelle Aufwand allerdings stark reduzieren.

Wie bereits unter 6.2.1 erwähnt, würde das Bearbeitungsgebiet auf die Elbe beschränkt werden. Die Nebenflüsse würden nicht mit erfasst werden, da in diesen Bereichen nur geringe Flächenanteile der betroffenen Biotoptypen liegen. Die aus dem Bereich der Elbe gewonnenen Erkenntnisse lassen sich dann auch für den Bereich der Nebenflüsse hochrechnen, ohne dass es das Gesamtergebnis verfälschen würde.



Die Vorgehensweise für die HRSC-Befliegung wäre folgende:

Zuerst müsste die Befliegung und Prozessierung der Daten durchgeführt werden. Der Befliegung wird für die Kostenermittlung die Variante A1 des Schreibens des DLR vom 04. 05. 2000 zugrundegelegt, d. h., ein minimales Befliegungsgebiet mit einer Befliegungsfläche von 559 km², dem Einsatz der weiterentwickelten Kamera HRSC-AX, höherer radiometrischer Auflösung, veränderten multispektralen Bandbreiten und einer Auflösung für das DOM von 2 m. Die Auflösung für das DOM ist bei der vorhandenen Geländesituation ausreichend. Dies gilt sowohl für die Null-Befliegung als auch für die Folge-Befliegung.

Für die Durchführung der nachfolgenden computergestützten Klassifizierung von Biotoptypen sind neben entsprechenden Geländearbeiten insbesondere die Auswertung der HRSC-Befliegungsdaten sowie die Integration der Ergebnisse und die Simulation im GIS von Bedeutung. Die Kostenermittlung bezieht sich auf ein Angebotsschreiben der Hochschule Vechta vom 25. 04. 2000. Zur Eichung der Null-Befliegung können die vorliegenden Daten aus der Biotoptypenkartierung der UVS mit herangezogen werden, da diese zwischenzeitlich in ein GIS überführt worden sind.

Für die Folge-Befliegung ist von folgenden Aussagen auszugehen:

Hinsichtlich der eigentlichen Befliegung und Datenprozessierung werden sich keine grundsätzlichen Einsparungen gegenüber der Null-Befliegung ergeben. Möglicherweise lassen sich die Kosten geringfügig reduzieren, wenn sich weitere Verbesserungen bei der Kamera ergeben oder die Prozessierungskosten durch verbesserte Rechnerleistungen gesenkt werden können. Einsparungen lassen sich dagegen bei der eigentlichen Auswertung feststellen. Diese kann sich dann weitgehend auf die in der Null-Messung erfassten besonders betroffenen Biotoptypen konzentrieren, was sich in einem deutlich geringeren Zeit- und Kostenaufwand niederschlägt. Umfangreiche Geländearbeiten entfallen, sie werden sich auf besonders kritische Punkte verdichten.

| Arbeitsschritte: | Null-Befliegung | Folge-Befliegung |
|---|--------------------------|--------------------------|
| HRSC-Befliegung einschl. Prozessierung der Daten, Auflösung für DOM 2m * | ca. 264.000,00 DM | ca. 156.000,00 DM |
| Einrichten von Trainingsgebieten im Gelände, Auswerten der Daten, Integration der Ergebnisse in eine GIS-Umgebung | ca. 193.535,00 DM | ca. 100.800,00 DM |
| Gesamtkosten: | ca. 457.535,00 DM | ca. 256.800,00 DM |

* Variante A1 des Angebotentwurfs der DLR vom 12. 05. 2000

Tabelle 6-4 Kosten der Kartierung mittels multispektraler Klassifikation von HRSC-A-Daten

6.3 Bewertung des Methoden- und Kostenvergleichs

Beim **Vergleich der Kosten** einer flächenhaften Erfassung besonders betroffener Biotoptypen im Rahmen der Beweissicherung ergibt sich entsprechend nachfolgender Tabelle folgende Reihung:

| | Herkömmliche Kartierung Variante 1a | Herkömmliche Kartierung Variante 1b | Herkömmliche Kartierung Variante 1c | HSRC – Befliegung / multispektrale Klassifikation |
|--|--|--|--|--|
| Null-Kartierung/Null-Befliegung | 101.000,00 | 186.000,00 | 476.000,00 | 457.535,00 |
| 1. Folge-Kartierung/Folge-Befliegung | 101.000,00 | 186.000,00 | 476.000,00 | 256.800,00 |
| Kosten für Null-Aufnahme und eine Folgeaufnahme | 202.000,00 | 372.000,00 | 952.000,00 | 714.335,00 |

Tabelle 6-5 Gesamtkostenvergleich der betrachteten Varianten (in DM)

Die geringsten Kosten entstehen durch die herkömmliche Kartierung, Variante 1a, die höchsten Kosten durch die herkömmliche Kartierung, Variante 1c. Die HSRC-Befliegung inklusive der Klassifikation nimmt den 3. Rang ein.

Vom Grundsatz her müssten jedoch bei der herkömmlichen Kartierung alle Flächen überprüft werden, um zu dokumentieren, ob nicht z. B. durch Nutzungsaufgabe und Sukzession sich weitere Veränderungen der Biotoptypen eingestellt haben, welche die Aussagen hinsichtlich des Flächenvergleichs mit dem in der UVS dokumentierten Zustand zusätzlich verfälschen würden.

Würde man von einer Erfassung des ca. 100 km² großen Gebietes ausgehen, würde dies die angesetzten Kosten für die herkömmliche Kartierung (Arbeiten im Gelände) jeweils auf 264.000,00 DM erhöhen.

Hinsichtlich des **methodischen Vergleichs** muss eindeutig festgestellt werden, dass die Kartierung im herkömmliche Sinne folgende Anforderungen nicht erfüllen kann:

- Die genaue flächenhafte Abgrenzung bzw. Unterscheidung der einzelnen Biotoptypen aus normalen Luftbildern (Variante 1a, 1b)
- Die Differenzierungen der Biotoptypen aus dem Luftbild in unzugänglichen Bereichen (Varianten 1a, 1b, 1c).

Als Ergebnis dieses Vergleichs kann festgehalten werden, dass die genannten inhaltlichen Anforderungen für die im Planfeststellungsbeschluss für das Vorhaben „Fahrrinnenvertiefung der Unter- und Außenelbe“ erforderlich gehaltene flächenhafte Überprüfung der prognostizierten Vegetationsveränderungen u. E. am besten durch die HRSC-Befliegung erfüllt werden. (Variante 1c erfüllt zwar die Anforderungen an die Genauigkeit, ist aber die insgesamt teuerste Variante und scheidet auf alle Fälle aus).

Welche große Bedeutung die Genauigkeit im Rahmen dieser Beweissicherung jedoch hat, ergibt sich aus der Tatsache, dass – wie bereits in 6.1 erläutert - die relativ großen prognostizierten Biotopflächenverluste auf nur relativ geringe Wasserstandsänderungen (Änderung des MThw um max. 4 cm) zurückzuführen sind. Es ist deshalb auch ein genaues Verfahren zum Einsatz zu bringen. Weiterhin sollte dieses Verfahren dem aktuellen Stand der Technik entsprechen.

Zur Begründung für den Einsatz der HRSC-Befliegung sollen deshalb die sich aus dem Pilotprojekt gewonnenen Erkenntnisse speziell unter dem Gesichtspunkt der Anwendbarkeit im Rahmen der Beweissicherung für dieses Vorhaben nochmals dargestellt werden.

Die Ergebnisse des Pilotprojektes zeigen, dass

- eine computergestützte Klassifizierung der im Planfeststellungsbeschluss aufgeführten besonders betroffenen Biotoptypen möglich ist
- die Erfassung und Abgrenzung von Biotoptypen mit einem Genauigkeitsgrad erfolgt, der mit anderen Kartierungsmethoden nicht zu erreichen ist
- schwer bzw. unzugängliche Bereiche insbesondere entlang der Ufer exakt erfassbar sind
- ein exakter Flächenvergleich zwischen verschiedenen zeitlichen Zuständen mit genauen Angaben der Flächen mit Zu- und Abnahmen jederzeit durchführbar und wiederholbar ist
- durch die digitale Erfassung Übertragungsfehler und die Ungenauigkeiten bei der Digitalisierung von Unterlagen entfallen
- die erfassten Daten jederzeit nachprüfbar sind
- sehr große Vorteile bei der Auswertung von Mehrfachbefliegungen auftreten, d.h., von Befliegungskampagnen, die gegebenenfalls über mehrere Jahre hinweg erfolgen müssen
- eine Datenaufnahme auch bei sehr großen Flächen fast zeitgleich innerhalb eines oder weniger Tage erfolgen kann.

6.4 Sonstige entscheidungsrelevante Aspekte

Außer den in Kapitel 5.1 und 6.3 genannten Gründen sprechen weitere Argumente für den Einsatz der HRSC-Befliegung. Mit einer HRSC-Befliegung der Elbe im beschriebenen Gebiet würden dem WSA Hamburg zum ersten mal eine flächenhafte digitale Grundlage der Biotopbestände der gesamten Vorländer etwa zwischen der Störmündung und dem Wehr Geesthacht zur Verfügung stehen, die auf vielfältige Art und Weise unabhängig von der jetzt zu behandelnden Frage der Beweissicherung genutzt werden könnte:

- Eindeutige, jederzeit wieder nachvollziehbare Ist-Erhebung hinsichtlich der Ausdehnung und der Abgrenzung von Vegetationsbeständen an der Unter- und Außenelbe (Koordinatengenau, nicht anzweifelbar)
- Grundlage für die Dokumentation von Veränderungen, d. h., es lassen sich nun Aussagen überprüfen, in wieweit sich Vegetationsbestände in ihrem Gesamtumfang verändern (z.B.: nehmen die Röhrichtbestände an der Elbe ab? Nehmen sie in bestimmten Bereichen ab, in anderen Bereichen aber zu?)
- Überprüfung insbesondere möglicher Wirkungen der Kompensationsmaßnahmen Hahnöfer Nebelbe/ Mühlenberger Loch aber auch anderer Kompensationsmaßnahmen
- Grundlage für künftige Planungen an der Elbe, die zunehmend digital erarbeitet werden
- Aufgrund der unterschiedlichen erfassten Spektralbereiche, der DOM-Erzeugung, der Orthobildgenerierung auch für andere Aufgabenstellungen des WSA HH, der WSD Nord nutzbar, z. B.
 - Kontrollen der Uferlinien
 - Aktualisieren der DBWK
 - Ableitung relevanter Daten (z.B. DOM) für weitere WSV-Aufgaben (z.B. WaGIS)
- Mit den so gewonnenen Aussagen können bisherige Prognosen hinsichtlich Vegetationsveränderungen beim Ausbau von Wasserstraßen im Tidebereich für künftige Vorhaben gegebenenfalls verbessert werden und möglicherweise zu geringerem Kompensationsbedarf führen
- Weitere Erkenntnisse auch für künftige Vorhaben in anderen Bereichen der WSV, bei denen ebenfalls größere oder schwer zugängliche bzw. schlecht einsehbare Flächen mit einer hohen Genauigkeit erfasst werden müssen.

Diese Vorteile lassen sich von uns nicht kostenmäßig beziffern, sie können zukünftig für das WSA Hamburg bzw. andere Dienststellen der WSV jedoch zu einer Kosteneinsparung führen.

Nachdem auch die Freie und Hansestadt Hamburg im Rahmen ihres Planfeststellungsbeschlusses eine Beweissicherung in Gestalt einer Luftbildbefliegung angeordnet hat, könnte im Sinne einer Vereinheitlichung der Methodik und Auswertung gegebenenfalls eine gemeinsame Befliegung mit HRSC durchgeführt werden. Dies könnte möglicherweise auch zu einer Kostenreduzierung für die WSV führen.

6.5 Entscheidungsvorschlag der BfG

Die BfG schlägt deshalb aus den bereits erläuterten Gründen - insbesondere denen der Genauigkeit und den zuletzt aufgeführten, mehr projektunabhängigen Aspekten – eine weitere Überprüfung der Biotoptypen im Rahmen der Beweissicherung auf der Grundlage einer digitalen HRSC-Befliegung vor. Eine Nullmessung würde eine exakte Datenbasis schaffen. Eine oder mehrere Folgebefliegungen, die mit der gleichen Methodik bearbeitet würden, könnten hochgenaue Ergebnisse hinsichtlich etwaiger Veränderungen liefern. Die BfG hält diese Vorgehensweise für die geeignetere, dem Stand der Technik besser entsprechende und wegen der sonstigen Nutzbarkeit der Daten für insgesamt wirtschaftlichere Methode im Vergleich zu einer herkömmlichen Biotoptypenkartierung.

6.6 Hinweise für die weitere Durchführung

Über die inhaltliche Fortführung der Beweissicherung auf der Grundlage einer HRSC-Befliegung gibt die nachfolgende Abbildung 6-1 Auskunft.

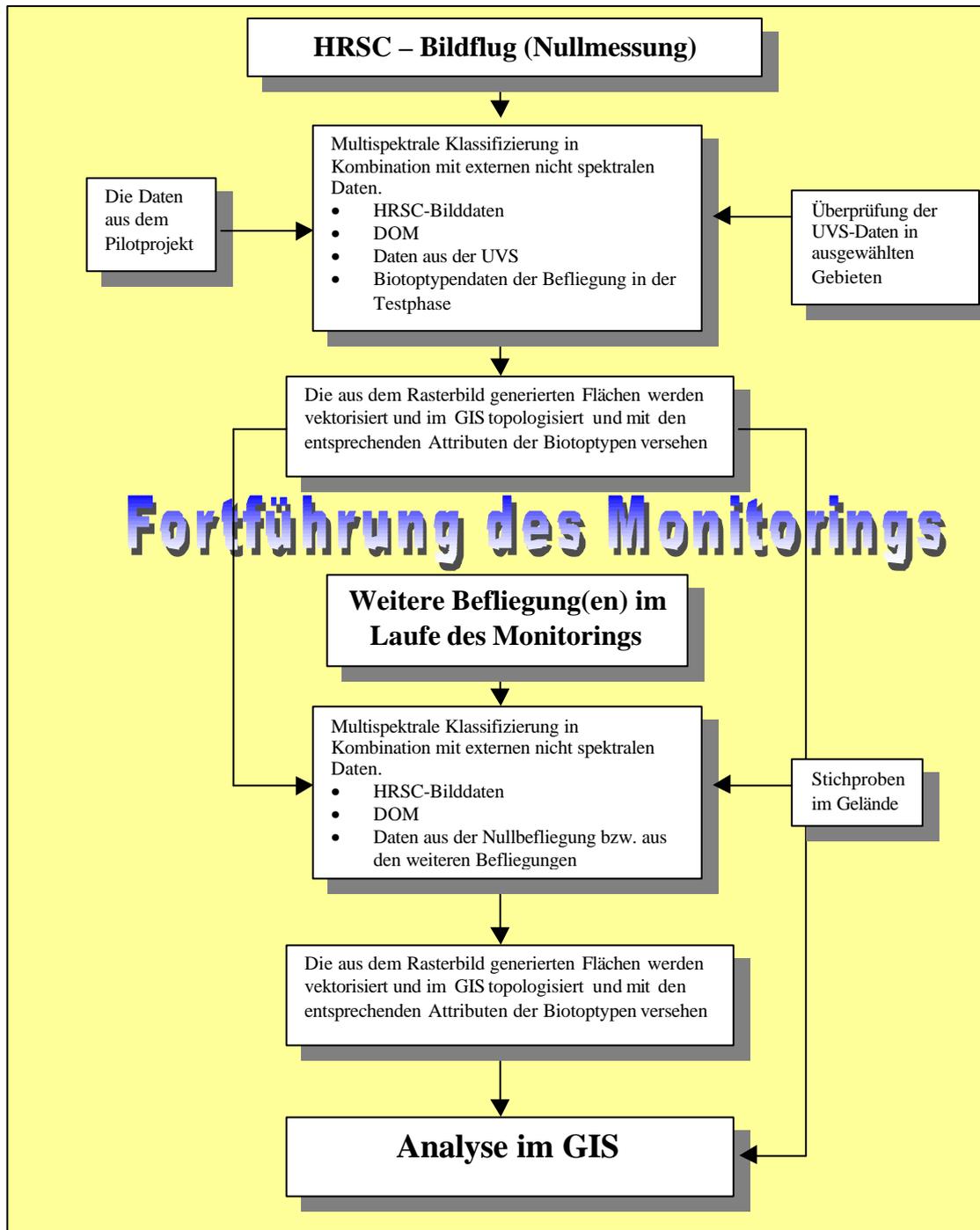


Abbildung 6-1 Flussdiagramm der Fortführung der Anwendung in der Beweissicherung

Da die Befliegung an bestimmte Randbedingungen geknüpft ist, hier insbesondere den optimalen Entwicklungszeitpunkt für Röhricht etwa Ende Juli, aber auch die Wetterbedingungen und die Zeiten mit Tideniedrigwasser berücksichtigt werden müssen, gilt es, Entscheidungen bezüglich des weiteren Vorgehens möglichst rasch zu treffen. Dies betrifft

vor allem die Flugplanung, damit das Vorhaben im Kontext mit anderen Befliegungsprojekten des DLR eingeplant werden kann.

Bei einer Entscheidung für eine HRSC-Befliegung kann durch die beteiligten Institutionen gewährleistet werden, dass sowohl die Befliegung als auch die Auswertung über den maximal geforderten Zeitraum durchgeführt werden kann. D.h., die Kontinuität des Vorhabens kann über einen längeren Zeitraum garantiert werden. Dies lässt sich vor allem damit begründen, dass es sich bei dem Kameratyp um eine Technologie handelt, für die weltweit ein hoher Anwendungsbedarf und Einsatzbereich besteht und deren kommerzielle Nutzung gerade am Anfang steht. Gegenwärtig ist damit – sowohl hinsichtlich des Kameratyps als auch der Auswertungsmethode – allerdings auch eine Monopolstellung der beteiligten Institutionen

7 Zusammenfassung

Im Rahmen des Vorhabens „Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt“ sind in der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) Auswirkungen durch Wasserstandsänderungen - Anstieg des MThw um max. 4 cm - auf die terrestrischen Lebensgemeinschaften, insbesondere auf die ufernahen Biotoptypen, prognostiziert worden. Der daraus abgeleitete Verlust der ufernahen Biotoptypen konnte allerdings nur pauschal angegeben werden und wurde im Planfeststellungsverfahren in vielen Einwendungen angezweifelt. Im Planfeststellungsbeschluss zum Ausbau der Unter- und Außenelbe wurde daher ein Beweissicherungsverfahren gefordert, welches die potenziellen Veränderungen erfasst und die UVS-Prognosen überprüfen soll. Dies betrifft die Biotoptypen Weidenauwald, Weidengebüsch, Röhrichte und Uferstaudenfluren, die zwischen Brunsbüttel und Geesthacht sowie an den Nebenflüssen, soweit diese dem Tideeinfluss unterliegen, vollständig und flächenhaft zu kartieren sind. Die Kartierung dieser Flächen im angeführten Gebiet erfordert einen sehr hohen Personalaufwand und könnte z.B. durch eine geeignete Befliegung (im Planfeststellungsbeschluss wird die Möglichkeit einer CIR-Befliegung angeführt) sowohl vom Zeit-, Personal- als auch Kostenaufwand reduziert werden.

Diese Kartierungen müssen gegebenenfalls über einen längeren Zeitraum in regelmäßigen Abständen von zwei Jahren durchgeführt werden, falls sich entsprechende Veränderungen in den angesprochen Bereichen einstellen sollten. Es muss daher gesichert sein, dass die Kartierungen untereinander vergleichbar sind, um etwaige Tendenzen einer Veränderung aufzeigen zu können. Differenzen, die auf Kartier- und Übertragungsungenauigkeiten zurückzuführen sind, müssen weitestgehend ausgeschlossen werden.

Das WSA Hamburg erteilte im Dezember 1998 an die BfG den Auftrag, eine Markt- und Hochschulanalyse zur automatisierten Auswertung von Luftbildbefliegungen durchzuführen und gegebenenfalls ein Pilotprojekt zu starten, um ein zeit-, personal- und kostengünstiges Verfahren zur gezielten automatisierten Erfassung von Biotoptypen für den Einsatz im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) zu testen.

Die BfG führte daraufhin eine umfangreiche Literaturrecherche sowie eine Markt- und Hochschulanalyse durch mit dem Ergebnis, dass eine computergestützte automatisierte Auswertung von CIR-Luftbildern ausscheidet. Im Zuge dieser Recherchen erhielt die BfG jedoch Hinweise auf einen neuartigen opto-elektronischen multispektralen Stereoscanner (High Resolution Stereo Camera – Airborne, HRSC-A), der vom Deutschen Zentrum für

Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung (DLR) in Berlin entwickelt wurde.

Obwohl diese Technologie für die genannte Aufgabenstellung zuvor noch nicht zur Anwendung kam, erschien sie dennoch aufgrund ihrer technischen Ausstattung geeignet. Es wurde deshalb ein Pilotprojekt durchgeführt, an dem das WSA Hamburg, das DLR, die Hochschule Vechta und die BfG beteiligt waren. Das DLR war für die Befliegung und Prozessierung der Daten zuständig, die Hochschule Vechta entwickelte die Methodik zur computergestützten Klassifizierung von Biotoptypen, die BfG war unter Beteiligung des WSA Hamburg für die fachliche Koordination zuständig. Für das Pilotprojekt wurden drei Testgebiete an der Unterelbe ausgewählt, die befliegen und ausgewertet werden sollten: Die Insel Pagensand, die Ilmenau-Mündung und das Gebiet Heuckenlock.

Am 05. 09. 1999 wurden diese Testgebiete mit dem HRSC-A Scanner bei günstigen Wetterbedingungen, allerdings weniger günstigen Wasserständen um die Mittagszeit befliegen. Die eingesetzte Kamera verfügt über 9 Kanäle (2 Stereo-, 2 Photometrie-, 1 Nadir- und 4 multispektrale Kanäle) und ermöglicht im Rahmen der Datenprozessierung die Erzeugung eines Digitalen Oberflächenmodells und die Erstellung von Orthobildern.

Die prozessierten Daten wurden anschließend der Hochschule Vechta übergeben. Dort wurden die Daten unter Berechnung eines für die Vegetationsklassifizierung wichtigen (hier virtuellen) Roten Kanals, der Einbeziehung des Digitalen Oberflächenmodells und von Texturanalysen für eine Klassifizierung aufbereitet. Dafür waren zahlreiche Einzelschritte erforderlich. Gleichzeitig mussten in den Testgebieten Pagensand und Ilmenau-Mündung in bestimmten Trainingsgebieten die Vegetation vor Ort überprüft werden. Hierzu konnten auch die Daten der ursprünglichen Kartierung der UVS herangezogen werden. Das Testgebiet Heuckenlock wurde ausgewählt, um die Übertragbarkeit der in den beiden anderen Testgebieten gewonnenen Ergebnisse zu überprüfen.

Das Pilotprojekt zeigt, dass

- der Einsatz des HRSC-Scanners grundsätzlich für eine Biotoptypenerfassung geeignet ist und entscheidende Vorteile gegenüber den nur analog auszuwertenden CIR-Aufnahmen hat
- es möglich ist, auf der Grundlage von digitalen hochauflösenden multispektralen HRSC-Befliegungsdaten eine teilweise automatisierte Klassifizierung von Biotoptypen vorzunehmen
- die lagemäßige Genauigkeit und der Detaillierungsgrad der Klassifizierung sehr hoch ist
- eine weitgehende Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Trainingsgebieten auf vergleichbare Flächen prinzipiell möglich ist
- diese Fernerkundungsmöglichkeit sehr gut geeignet ist für eine flächenscharfe Abgrenzung von Biotoptypen in sehr großen, schwer überschaubaren oder schwer zugänglichen Gebieten
- immer wieder auf die Grunddaten zurückgegriffen werden kann und somit Aussagen jederzeit nachvollziehbar belegt werden können.

Das Pilotprojekt zeigt aber auch, dass bei Anwendung einer solchen Methodik der Biotoptypenkartierung (das gleiche gilt für andere Fernerkundungsmethodiken) dennoch nicht auf ergänzende Geländearbeiten durch qualifizierte Vegetationskundler verzichtet werden kann.

Die BfG stellt Überlegungen zur Auswahl eines geeigneten Verfahrens zur Biotypenkartierung im Rahmen der Beweissicherung an und führte dazu eine Methoden- und Kostenvergleich zwischen einer herkömmlichen Kartierung und einer HRSC-Befliegung durch. Aus Gründen der Genauigkeit, die für dieses Vorhaben sicherlich von ausschlaggebender Bedeutung sind, aber auch aufgrund der Tatsache, dass die digitalen Daten einer HRSC-Befliegung im WSA Hamburg und darüber hinaus zusätzlich Anwendungsmöglichkeiten eröffnen können, schlägt die BfG eine HRSC-Befliegung als die geeignetere, dem Stand der Technik besser entsprechende und somit wirtschaftlichere Methode im Vergleich zu einer herkömmlichen Biotypenkartierung vor.

LITERATUR

- Bido, I., Lehmann, F. (2000): Verfahrensbericht für das Projekt mit dem Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung, Berlin-Adlershof
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, Abteilung Küste (BAW) (1997): Tidedynamik des Elbästuars, Ist- Zustand & Ausbauvariante Z1 - CD-ROM, Version 4
- BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE (1998): Gezeitenkalender 1999, Hoch- und Niedrigwasserzeiten für die Deutsche Bucht und deren Flussgebiete, Hamburg und Rostock
- Ehlers, M., Möller, M., Janowsky, R., Gähler, M. (2000): Entwicklung einer Methode zur automatisierten Biotoptypenerfassung auf der Grundlage von HRSC-A-Scannerdaten, Abschlussbericht, Hochschule Vechta - Institut für Umweltwissenschaften
- ELSCHER, T. UND TIELBAAR, H.-C. (1988): Einsatz von Color-Infrarot-Luftbildern in der Landschaftsplanung, in: Landschaft und Stadt 20, (1) Stuttgart, S. 26-34
- HILDEBRANDT, G. (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie, Heidelberg
- KENNEWEG, H. (1996): Biotoptypenkartierung mit CIR-Luftbildern in den neuen Bundesländern, in: AFZ – Der Wald 51, München 2/1996 S. 84-85
- KUHN, W.: BIEDERMANN, R. U. KLEYER, M. (1998): Das Überleben von Tierpopulationen in der Kulturlandschaft. Die Bedeutung von Habitatqualität, Habitatgröße und Isolation. – CD-ROM, Universität Rostock, Inst. Für Landschaftsplanung und Landschaftsökologie
siehe auch: <http://www.agr.uni-rostock.de/landpl/landeco/landeco.htm>
- LEHMANN, F., BUCHER, T., HESE, S., HOFFMANN, A., MAYER, S., OSCHÜTZ, F. UND ZHANG, Y. (1998): Die Kombination von hyperspektralen HyMap-Daten und HRSC-A Multispektral- und DGM Daten zur Validierung und Nutzung in verschiedenen Anwendungsgebieten, in: Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, S. 89 – 104

Materialband I (1997): Umweltverträglichkeitsuntersuchung zur Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt.- Fachgutachten Hydromechanik. Erstellt durch die Bundesanstalt für Wasserbau - Außenstelle Küste, Hamburg; i. A. d. Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg und der Freien und Hansestadt Hamburg, Wirtschaftsbehörde, Amt Strom- und Hafenaufbau, Hamburg.

Materialband VI (1997): Umweltverträglichkeitsuntersuchung zur Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt.- 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 Hafenaufbau, Hamburg.

MÖLLER, M. (1998): Hochauflösende Fernerkundungsdaten als Quelle für den Aufbau von Stadtinformationssystemen am Beispiel eines digitalen Versiegelungskatasters, in: Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, S. 341-348

PLANUNGSGRUPPE ÖKOLOGIE + UMWELT NORD (PÖUN) (1997):

Umweltverträglichkeitsstudie zur Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt, Teil 1: Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVS). Untersuchung im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg und der Freien und Hansestadt Hamburg, Wirtschaftsbehörde, Amt Strom- und Hafenaufbau, Hamburg.

WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION NORD, PLANFESTSTELLUNGSBEHÖRDE (1999): Planfeststellungsbeschluss für die Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt von km 638,9 bis km 747,9- A4-143.3/15

WEFEL, F., SCHOLTEN, F., NEUKUM, G., ALBERTZ, J. (1998): Digitale Luftbildaufnahme mit der HRSC – Ein Schritt in die Zukunft der Photogrammetrie, in: Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, 6/1998, S. 337-348



Anlagen

Anlage A1

Ausgewählte Ergebnisse der Recherche aus UBA-Datenbank

- BIERHALS, E.: CIR-Luftbilder für die flächendeckende Biotopkartierung, in: Inform.de. Naturschutz Niedersachs. 8. Jg, Nr. 5, S. 77-104, Hannover, 1988
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg): Systematik der Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung (Kartieranleitung). Standard-Biotoptypen und Nutzungstypen für die CIR-Luftbild-gestützte Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung für die Bundesrepublik Deutschland, Serie: Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, (Veröffentlichungen der Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie), Band: 45, 153 S. 1995 BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, Abteilung Küste (BAW): Tidedynamik des Elbästuars, Ist- Zustand & Ausbauvariante Z1 - CD-ROM, Version 4, 1997
- CARSTENS, A., FISCHER, U., KAMPMEIER, W.: Digitale luftbildgestützte Waldkartierung als Grundlage flächendeckender Forsteinrichtung. Erfahrungen nach vierjährigem Einsatz, in: AFZ - Der Wald (Allgemeine Forstzeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge) 52, S. 1328-1330, 1997
- ELSCHER, T. UND TIELBAAR, H.-C.: Einsatz von Color-Infrarot-Luftbildern in der Landschaftsplanung, in: Landschaft und Stadt 20, (1) Stuttgart, 1988, S. 26-34
- GEGG, G.: Fernerkundungsdaten und Geo-Informationssysteme im Forstwesen, in: Konzeption und Einsatz von Umweltinformationssystemen. Proceedings – Informatik-Fachberichte 301.1992, S. 354-375, 1992
- HAHN, H.-J: Die CIR-Luftbild-gestützte Biotopkartierung 1991 von Hannover in: Zeitschrift: Bericht der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover, Band: 137, S. 183-201, 1995
- HILDEBRANDT, G.: Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie, Heidelberg 1996
- KENNEWEG, H: Biotoptypenkartierung mit CIR-Luftbildern in den neuen Bundesländern, in: AFZ – Der Wald 51, München 2/1996 S. 84-85
- KONOLD, W., PFEILSTICKER, R., JOEST, M.: Vegetationskartierung mit Hilfe von Farbinfrarot-Luftbildern, aus: Handbuch Wasserbau, Naturgemäße Gestaltung von Fließgewässern. Kolloquium, S. 28-35, 1990
- KUHN, W.: BIEDERMANN, R. U. KLEYER, M.: Das Überleben von Tierpopulationen in der Kulturlandschaft. Die Bedeutung von Habitatqualität, Habitatgröße und Isolation. – CD-ROM, Universität Rostock, Inst. Für Landschaftsplanung und Landschaftsökologie, 1998, siehe auch: <http://www.agr.uni-rostock.de/landpl/landeco/landeco.htm>
- LEHMANN, F., BUCHER, T., HESE, S., HÖFFMANN, A., MAYER, S., OSCHÜTZ, F. UND ZHANG, Y.: Die Kombination von hyperspektralen HyMap-Daten und HRSC-A Multispektral- und DGM Daten zur Validierung und Nutzung in verschiedenen Anwendungsgebieten, in: Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung 1998, S. 89 – 104



- Luftbild-Interpretationsschlüssel. Bestimmung der natuerlichen Altersklasse von Waldbestaenden im Color-Infrarot-Luftbild (CIR-Luftbild) in: LOeBF-Mitteilungen (Landesanstalt fuer Oekologie, Bodenordnung und Forsten/Landesamt fuer Agrarordnung Nordrhein-Westfalen) Band: 23 (1) S. 45-50, 1998
- MÖLLER, M.: Hochauflösende Fernerkundungsdaten als Quelle für den Aufbau von Stadtinformationssystemen am Beispiel eines digitalen Versiegelungskatasters, in: Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung 1998, S. 341-348
- PETERSON, J., LANGNER, U.: Katalog der Biotoptypen und Nutzungstypen fuer die CIR-luftbildgestuetzte Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung im Land Sachsen-Anhalt (Catalogue of the Biotope Types and Use Types for the CIR Air-Photo Supported Biotope Type- and Use Type Mapping in the State of Saxony-Anhalt), Hrsg (Inst.): Landesamt fuer Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Berichte des Landesamtes fuer Umweltschutz Sachsen-Anhalt, 4, 39 S., 1992
- SILVERS, R.: Der Einsatz von Color-Infrarot-Luftbildern und Geo-Informationssystemen bei der Erstellung von Umweltvertraeglichkeitsstudien in: UVP-Report (Informationen zu Umweltvertraeglichkeitspruefung und Oeko-Audit), 8(4), S. 216-219, 1994
- TIELBAAR, H.: Biotoptypenkartierung aus der Luft (Aerial Mapping of Biotope Types) in:: Vogel und Luftverkehr (Informationen zum Vogelschlagproblem), Band: 16, S. 10-17, 1996
- WEFEL, F., SCHOLTEN, F., NEUKUM, G., ALBERTZ, J., Digitale Luftbildaufnahme mit der HRSC – Ein Schritt in die Zukunft der Photogrammetrie, in: Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, 6/1998, S. 337-348



Anlage A4 Klassifikationsergebnisse und Methodengegenüberstellung - Pagensand



Anlage A5 Klassifikationsergebnisse und Methodengegenüberstellung – Heuckenlock

