

## Satellitenfernerkundung im Naturschutz – vom Pilotprojekt zur operationellen Anwendung

STEFAN WEIERS, MICHAEL WISSEN, MICHAEL BOCK & BRITTA SCHADE, Köln

**Zusammenfassung:** Ausgehend von den Erfahrungen des Pilotprojektes MoBio werden Potentiale und Grenzen der Anwendung von Satellitenfernerkundungsverfahren im Naturschutz anhand von Fallbeispielen dargelegt. Perspektivisch werden die Rahmenbedingungen für eine operationelle Umsetzung der Ergebnisse auf Landesebene auf Grundlage von Wirtschaftlichkeitsanalysen, Umweltinformationssystemen sowie der noch bestehenden technischen und administrativen Restriktionen diskutiert.

Von 1997 bis 1999 wurde MoBio (Monitoring of Changes in Biotope and Land Use Inventory) als Pilotprojekt innerhalb des europäischen Programms CEO (Centre for Earth Observation) im 4. Rahmenprogramm Klima und Umwelt durchgeführt. Vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) wurde es in Zusammenarbeit mit dem dänischen Umwelt Forschungsinstitut (National Environmental Research Institute NERI) und dem Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig Holstein (LANU) initiiert.

Der Schwerpunkt des Projektes lag in der Überwachung von Biotopveränderungen in Dänemark und Schleswig-Holstein. Dabei wurde mit Hilfe von Satellitenbildanalysen sowie GIS-Ansätzen eine neue effektive Methode entwickelt, die im Vergleich zu den mit hohen Kosten verbundenen herkömmlichen Kartiermethoden wie z. B. Luftbildinterpretation, eine interessante Alternative für die Erfassung und Analyse räumlicher Information darstellt. Darüber hinaus wurden exemplarisch Ansätze zu einer Bewertung landschaftsökologischer Funktionen durch Integration von Fernerkundungs- und zusätzlichen Geodaten erprobt und weiterentwickelt.

**Summary:** *Satellite remote sensing in nature conservation – from a pilot project towards operational application.* Based upon the experiences of the pilot project MoBio potentials and limits of the application of satellite remote sensing techniques in nature conservation are outlined in this paper as case examples. In a perspective view the framework conditions for an operational implementation of the results on a federal state level are discussed in the context of cost/benefit analyses, environmental information systems and the technical and administrative restrictions still existing.

From 1997 to 1999 the pilot project MoBio (MoBio (Monitoring of Changes in Biotope and Land Use Inventory) was carried out within the European Programme CEO (Centre for Earth Observation) of the 4<sup>th</sup> Framework Programme Climate and Environment. It was initiated by the German Aerospace Center (DLR) in collaboration with the Danish National Environmental Research Institute (NERI) and the Federal State Agency for Nature and Environment of the German federal state Schleswig Holstein (LANU).

The project was focussed on the monitoring of biotope changes in Schleswig Holstein and Denmark. By means of satellite image analysis and GIS approaches a new method for the assessment and analysis of spatial environmental information was developed that provides a relevant cost efficient alternative to established methods such as field mapping and visual interpretation of aerial photos.

Furthermore exemplary approaches for the assessment of geo-ecological functions through the integration of remote sensing data and supplementary geodata were developed and tested.

## 1 Hintergrund und Zielsetzung

Umweltbehörden benötigen zunehmend räumliche Daten über Biototypen und Landnutzung (-bedeckung) zur Erfüllung ihrer gesetzlichen Aufgaben. Die hohen Kosten für Feldkartierungen und konventionelle Luftbilddauswertungen limitieren die fachlich gebotenen Fortschreibungsintervalle und die räumliche Abdeckung. Satellitendaten können eine kostengünstige Alternative zu etablierten Verfahren bieten. Als Hauptnutzer waren das Landesamt für Natur- und Umwelt des Bundeslandes Schleswig-Holstein (LANU) und das Dänische Nationale Umweltforschungsinstitut (DMU) involviert. Beide Institutionen sind vom Gesetzgeber zur Erhebung und Fortschreibung naturschutzrelevanter Grundlagendaten verpflichtet. Umfang und Art vorhandener Kartenwerke, Erhebungsmethodik und Nomenklaturen weichen jedoch erheblich voneinander ab. In diesem Beitrag soll schwerpunktmäßig auf die Arbeiten in den deutschen Testgebieten eingegangen werden.

Im Land Schleswig Holstein wurde in den Jahren 1988 bis 1991 eine landesweite Luftbildbefliegung durchgeführt. Auf Grundlage der analogen Falschfarbinfrarotluftbilder (FCIR) beauftragte das LANU die Erstellung flächendeckender Karten der Biotop- und Landnutzungstypen durch visuelle Interpretation nach einem speziell für das FCIR-Bildmaterial entwickelten Schlüssel (Bundesamt für Naturschutz 1995) mit mehr als 600 Kartiereinheiten. Die Digitalisierung der Karten und Integration in das landesweite Landschaftsinformationssystem (LANIS) ist inzwischen weitgehend abgeschlossen. Die Biotypenkarten bieten wichtige Informationsgrundlagen für zahlreiche Aufgaben der Umweltverwaltung wie z.B. Landschafts- und Landschaftsrahmenplanung, Umweltverträglichkeitsprüfungen, Ausweisung von Naturschutzgebieten, Biotopverbundplanung und Verfahren im Rahmen der Eingriffsregelung.

Die aus naturschutzfachlicher Sicht erforderliche Fortschreibung der Daten in Intervallen von maximal 5 Jahren ist jedoch auf

Grund der hohen Kosten für die flächendeckende Interpretation angesichts zunehmender Haushaltsrestriktionen nicht mehr gewährleistet.

In Abstimmung mit direkt beteiligten und potentiellen Nutzern wurden folgende (technischen) Aufgabenstellungen formuliert:

- Entwicklung einer angemessenen Methodik zur Indikation von Veränderungen in der Biotopausstattung und Landnutzungsstruktur unter Verwendung von multispektralen und -temporalen Satellitendaten
- Erstellung von Grundlagenkarten zu Vegetation und Bodenbedeckung in Anlehnung an europäische Nomenklaturen wie CORINE Land Cover
- Entwicklung und Erprobung einer Detailklassifizierungsmethode zur Erfassung von Feuchtbiototypen in einem Kerngebiet
- Aufbau eines GIS zur Integration von Satelliten- und Zusatzdaten zur beispielhaften Durchführung von Analysen zur Landschaftsbewertung
- Bewertung der ermittelten Veränderungen nach Vorgaben der Nutzer aus Umweltbehörden

## 2 Methodisches Konzept und Datenmaterial

Auf Grund der anwendungsbezogenen Aufgabenstellung ist das methodische Grundgerüst modular auf bewährten Standardverfahren zur Landsat-TM Klassifikation aufgebaut. TM Daten bieten einen vernünftigen Kompromiss im Hinblick auf spektrale Auflösung, räumliche Auflösung, Beschaffungs- und Prozessierungskosten. Die Produktion von Basislandbedeckungskarten wird ergänzt durch die Entwicklung eines maßgeschneiderten Verfahrens zur Veränderungsindikation (change detection) mit einer Kombination von verschiedenen spektralen Indizes.

Das Konzept verfolgt drei Prozessierungslinien:

- Eine change detection mit dem Ziel einer Binärdarstellung von Veränderungsgebiete-

ten wird durch die Kombination verschiedener spektraler Indizes durchgeführt.

- Basiskarten zur Landbedeckung werden durch hybride Klassifikation von Landsat-TM Bildern generiert.
- Konventionelle Falschfarbinfrarot-Luftbilder (FCIR) werden zur Validierung und Ableitung von Trainingsgebieten eingesetzt. In Fallstudien wird untersucht, inwieweit FCIR Bilder durch neue Produkte aus der Fusion von IRS 1C panchromatischen und multispektralen Landsat TM Daten substituiert werden können.

Als Zwischenprodukt der change detection wird eine Binärkarte mit den „hot spots“ der vermuteten Veränderungen ausgegeben, deren Verteilungsmuster in einem GIS analysiert wird. Für den Nutzer ist entscheidend, welche naturschutzfachliche Relevanz einzelnen Veränderungsflächen zugemessen wird. Daher soll in einem abschließendem Schritt der naturschutzrechtliche Status (NSG, LSG, Biotopverbund etc.) einbezogen werden. Eine GIS Routine mit einer nutzerdefinierten Bewertungsmatrix (Dichte/Häufigkeit von Veränderungspixeln in Bezug auf Naturschutzstatus) erlaubt die Ausgabe von Vorranggebieten für eine selektive Nacherhebung der Biotoptypenkartierung.

Für die Testgebiete des Pilotprojektes Skandinavien (DK), Dänemark (DK), Schleswig-Flensburg (DE) und Ostholstein (DE) wurden insgesamt 16 Landsat TM5 Vollszenen und 6 Miniszenen aus einem Zeitraum zwischen 1984 und 1995 beschafft.

Hochauflösende panchromatische Daten (IRS 1C mit 5,8 m Bodenauflösung) wurden zur Erkennung von mit TM Daten nicht erfassbarer Kleinstrukturen in der Landschaft (z.B. Knicks, Kleingewässer, Gehölzinseln etc.) beschafft.

In einem Projekt-GIS werden darüber hinaus folgende Zusatzdaten vorgehalten:

- ausgewählte FCIR Luftbilder und Orthophotos zur Kartierung von Trainingsgebieten, Validierung der Klassifikation und naturschutzfachlichen Fallstudien
- Grenzen von Natur- und Landschaftsschutzgebieten und Biotopverbundzonen
- Lineare Infrastruktur und administrative Grenzen

- im Feld kartierte Trainingsgebiete
- digitale Biotoptypenkarten zur Validierung

### 3 Erstellung von Grundlagenkarten durch Klassifikation von Landsat-TM Szenen

Multitemporale Bildausschnitte zu den einzelnen Testgebieten wurden zunächst mit einem Transformationsmodell beruhend auf Polynomen 2. Ordnung geometrisch angepasst. Eine Passpunktdatei zur Referenzierung der endgültigen Klassifikationsergebnisse auf eine UTM Kartenprojektion wurde generiert.

Als Eingangsdatensatz wurde ein Layer Stack mit zunächst 16 Kanälen erzeugt, die sowohl relevante Originalkanäle von Landsat TM (2, 3, 4, 5) als auch abgeleitete Parameter wie Vegetationsindizes einschließlich ihrer saisonalen Differenzen und Tasseled Cap transformierte Daten enthalten.

Ein einheitlicher Klassifikationsschlüssel, der verschiedene Nutzeranforderungen, unterschiedliche nationale Standards, die europäische CORINE Land Cover Nomenklatur sowie die Realisierbarkeit mit Landsat TM Daten berücksichtigt, wurde unter allen Projektpartnern verbindlich abgestimmt.

Eine unüberwachte Vorklassifikation nach dem Isodata Algorithmus mit 100 voreingestellten Klassen führte zunächst zu einer Datenstruktur, die den Anforderungen einer hohen Trennschärfe und Interpretierbarkeit gerecht wird. Das Ergebnisbild wurde einer visuellen Plausibilitätskontrolle durch Überlagerung mit Falschfarbkompositen unterzogen.

Durch Kreuztabellierung der Isodata Cluster mit den Polygonen der Feldtrainingsgebiete mit einem Vektor GIS-Tool konnte der Zusammenhang zwischen realen Kartiereinheiten und den extrahierten Clustern untersucht werden. Jeder Landbedeckungskategorie wurde ein entsprechendes Isodata Cluster zugeordnet, dessen Signatur als idealtypisch in die nachfolgende Maximum Likelihood Klassifikation überführt wurde. Der Vorteil gegenüber der di-

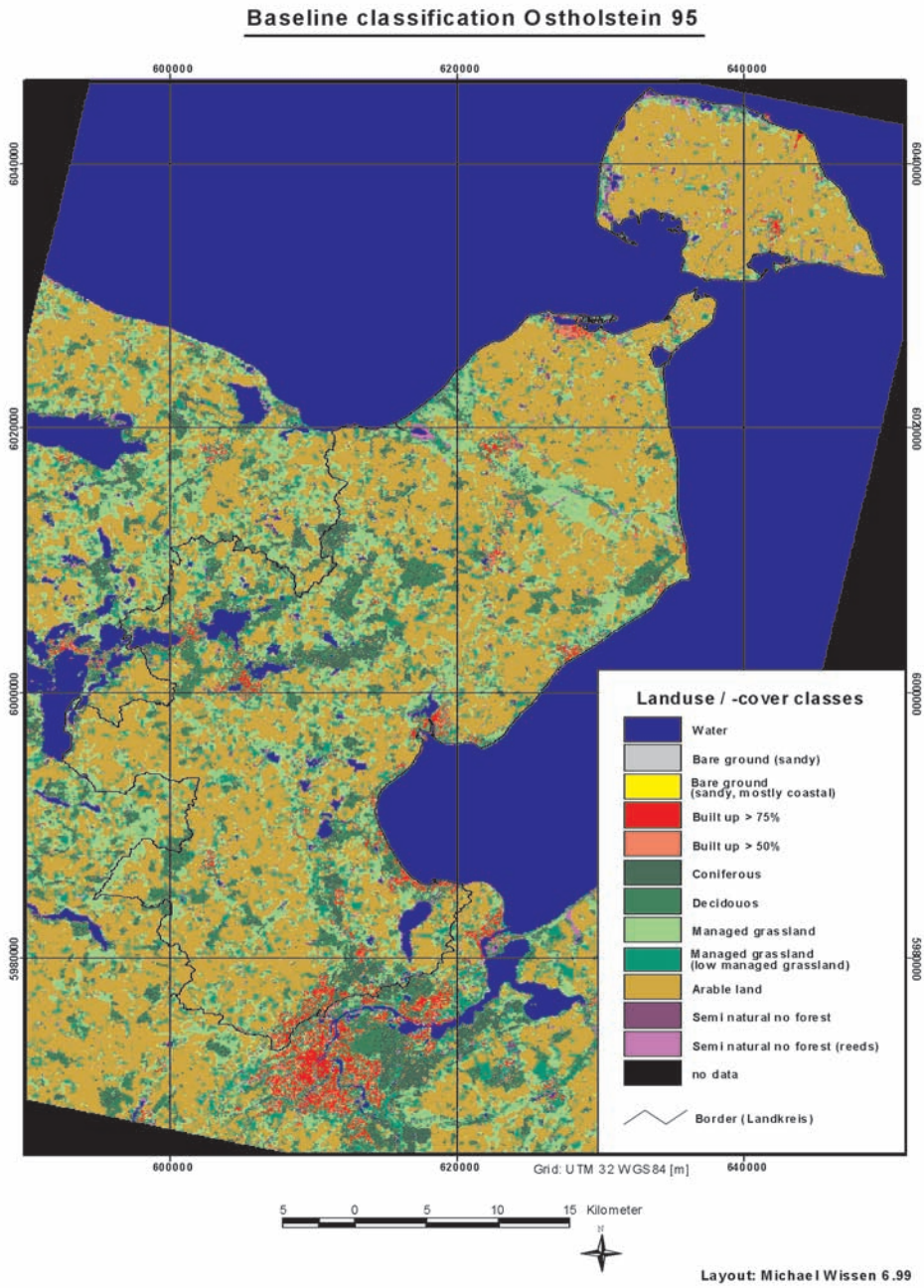


Abb. 1: Klassifikation der Landbedeckung Kreis Ostholstein.

rekten Ableitung der Eingangssignaturen aus den Trainingsgebieten liegt in der Erhöhung des Stichprobenumfangs und der damit verbesserten Qualität der Eingangsstatistik im Sinne der Normalverteilung.

Eine Untersuchung der Trennbarkeit zwischen den 16 Kanälen nach dem Verfahren von Jeffries und Matusita (SWAIN & DAVIES 1978) ermöglichte die Reduktion der 16 Eingangskanäle auf 11 durch Ausschluss von Redundanzen.

Die Weiterbearbeitung erfolgte mit einer Maximum Likelihood Klassifikation (MLH) nach einem in ERDAS Imagine implementierten Algorithmus.

Für jedes Testgebiet konnte so ein Basiskartensatz der Landbedeckung für die Jahre 1990 und 1995 erstellt werden. Ein Beispiel ist in Abb.1 wiedergegeben. Die durchschnittliche Genauigkeit der Klassifikation (overall accuracy) erreichte in diesem Beispiel 92,4%. Die hohe Genauigkeit ist in hohem Maße auf die Verwendung eines multitemporalen Landsat-Datensatzes (Bildpaar mit je einer Aufnahme zu Beginn und Ende der Vegetationsperiode) zurückzuführen.

#### **4 Mehrstufiges Klassifikationsverfahren zur Detailkartierung von Feuchtbiotopen**

Für das Gebiet der Eider Treene Sorge Niederung (144 km<sup>2</sup>) wurde eine Detailklassifizierung von Landsat TM Daten unterstützt durch die Einbeziehung von hochauflösenden (5,8 m) panchromatischen IRS-1C Daten durchgeführt und mit der bestehenden amtlichen Biotoptypenkartierung auf Basis von Color Infrarot Luftbildern verglichen.

Trainingsgebiete wurden aus den als unverändert indizierten Bereichen der aus der 1989er Befliegung abgeleiteten Biotoptypenkarte extrahiert. Diese musste zuvor aus einer gescannten Rasterkarte in ein Vektorformat mit entsprechender Attributierung semiautomatisch konvertiert werden. Als zusätzliche Referenzdaten wurden floristische Kartierungen, eigene Feldaufnahmen und ATKIS-Daten mit einbezogen.

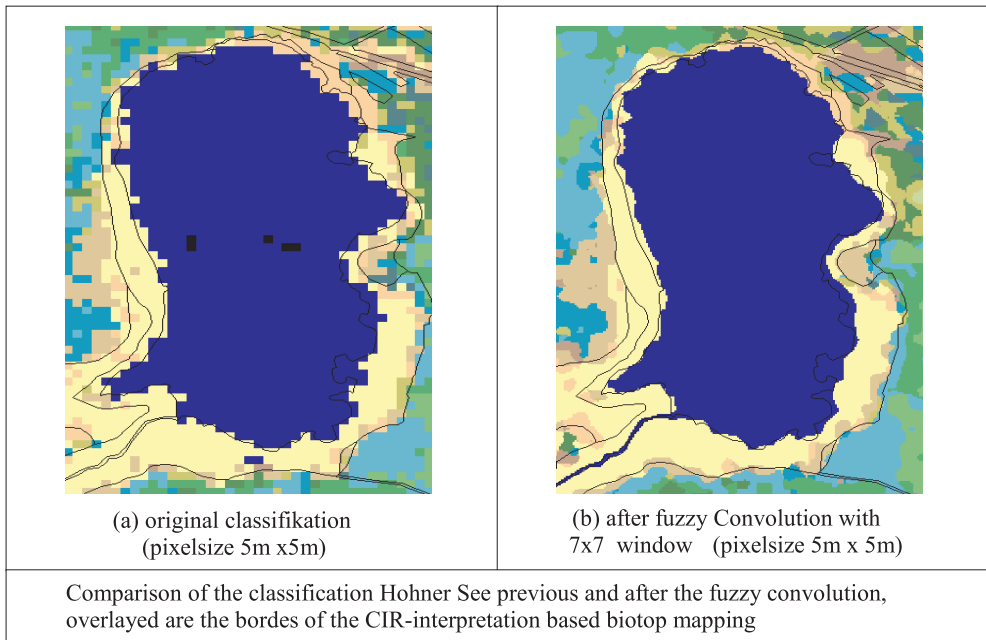
Das mehrstufige im Raster GIS ERDAS Imagine implementierte Verfahren führt zunächst den Ausschluss von nicht relevanten Flächen wie Siedlungen, Industriegebiete und Straßen über eine Abfrage aus ATKIS Daten durch, um Mischpixel und dadurch verursachte Fehlklassifikationen zu vermeiden. Im nächsten Schritt wurde die Auflösung der Landsat TM Daten durch ein Resampling Verfahren künstlich auf 5 m erhöht und Spektralsignaturen aus einem multitemporalen Datensatz aus 2 Aufnahmetermen (24.04.1995, 27.06.1995) extrahiert. Für 310 Referenzstandorte wurden in einer halbautomatischen GIS Routine die Merkmale Klassen- ID und prozentuale Bedeckung der Zielklasse aus der Trainingsgebietsdatenbank übernommen. Die spektrale Abgrenzung der Referenzstandorte erfolgte mit Hilfe des Seed-Pixel Algorithmus. Zur Ableitung der spektralen Signaturen wurden verschiedene Kanalkombinationen getestet. Die beste Trennbarkeit ergab sich bei einem Datensatz der TM Kanäle 3, 4, 5 aus beiden Aufnahmetermen und deren normierten Differenzen zwischen den Termen.

Nach einer eingehenden Analyse der Spektralsignaturen auf Trennbarkeit und Repräsentanz wurden zunächst 78 Signaturen selektiert und zu 21 Zielsignaturen für das Endprodukt aggregiert. Die Zielsignaturen weisen eine gute, wenn auch nicht vollständige Korrespondenz mit dem amtlichen Luftbildinterpretationsschlüssel auf.

Anschließend erfolgte eine Klassifizierung nach dem Maximum Likelihood Verfahren. Neben der Zuweisung mit der höchsten Wahrscheinlichkeit wurden die jeweils nächst größten Zuweisungswahrscheinlichkeiten ermittelt und in Fuzzy-Zugehörigkeitswerte basierend auf der invertierten Mahalanobis Distanz transformiert.

In einem Postprocessing Verfahren konnten Nachbarschaftsbeziehungen durch die Anwendung eines Fuzzy Convolution Operators einbezogen werden. In einer Filtermatrix über 7 X 7 Landsat Pixel mit auf 5 m künstlich erhöhter Auflösung wurde die gewichtete inverse Distanz aller Klassen





**Abb. 2:** Vergleich der Detailklassifizierung Hohner See vor und nach der Fuzzy Konvolution.

auf Basis der Fuzzy Zugehörigkeitswerte ermittelt. Die Klasse mit der jeweils höchsten inversen Distanz innerhalb der Filtermatrix wurde dem Zentralpixel zugewiesen.

Hier kommt der Vorteil der künstlich erhöhten Bildauflösung zum Tragen; indem an den Randbereichen der Original TM-Pixel (30 m) die Mischeffekte aufgelöst werden und zu einer erheblich besseren Differenzierung und realistischeren Objektstruktur führen. Die Wirkung der Fuzzy Konvolution ist in Abb. 2 visualisiert.

Die Klassifizierung wurde unterstützt durch Einbeziehung von Zusatzwissen aus Bodenkarten mit Hilfe von Regelabfragen. Z. B. konnte die Fehlzuweisung Ackerland auf stark vernässten Standorten durch eine Abfrage nach Vorhandensein von Moorböden vermieden werden. Kleingewässer, die auf Grund der zu groben Auflösung von Landsat TM nicht detektiert wurden, konnten über einfache Schwellwertabfragen über panchromatische IRS 1 C Daten erfasst werden.

Für 1995 wurde nach diesem Verfahren eine Biotoptypenkarte generiert und mit der vektorisierten Biotoptypenkarte mit Status 1989 im GIS verschnitten. Für jedes Vektorobjekt konnte dann die Verteilungsstatistik der Klassen im Rasterbild ermittelt und über eine entsprechende Zuweisungsvorschrift die Attributierung der Vektorkarte aktualisiert werden.

Zusätzlich steht die Rasterdarstellung zur Analyse fließender Übergänge und kleinräumiger Verteilungsmuster zur Verfügung. Eine Plausibilitätsüberprüfung anhand von Luftbildern und neueren detaillierten Vegetationskartierungen führte zu guten Übereinstimmungen. Lediglich die Erkennung von verbuschten Bereichen auf wassergesättigten Böden erwies sich als noch nicht zufrieden stellend. Das Verfahren eröffnet neue Perspektiven für die Biotoptypenkartierung und deren Aktualisierung mit hohem räumlichen und thematischen Detaillierungsgrad. Einzelheiten des Verfahrens sind in der Arbeit von M. BOCK (1999) dargestellt.

## 5 Change Detection als Managementinstrument für die Fortschreibung von Biotypenkartierungen

Das Modul Veränderungsindikation oder Change Detection wurde speziell für die Fortschreibung der in Schleswig Holstein flächendeckend bestehenden Biotop- und Landnutzungstypenkartierung des Landesamtes für Natur- und Umwelt entwickelt. Ziel ist zunächst die Identifikation von Flächen mit signifikanten und für den Naturschutz relevanten Veränderungen. Nach mehreren Testläufen mit verschiedenen change detection Techniken und spektralen Indikatoren, die aus multitemporalen (Sommer 1990 und 1995) Landsat TM5 Szenen abgeleitet wurden, erwies sich folgendes Verfahren als das zweckmäßigste:

Für 8 Indexdatenschichten (TM Kanäle 3, 4, 5, tasseled cap transformierte Kanäle 1, 2, 3, Vegetationsindex und Texturindex wurde eine selektive Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Für je ein Indexdatenpaar (z.B. Kanal x für 1990, 95) werden 2 Hauptkomponenten extrahiert. Auf der 1. Hauptkomponente wird die für beide Termine gemeinsame Bildinformation geladen, während die 2. Hauptkomponente das Veränderungssignal und das Rauschen lädt (vgl. auch. CHAVEZ & KWARTENG 1989). Die signifikante Veränderungsinformation wird vom Rauschen durch ein Perzentil-Schwellwertverfahren oder Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen getrennt. Die Reaggregation der einzelnen Indexschichten erfolgte durch Anwendung verschiedener Fuzzy Logik Kombinationsregeln. Als Zugehörigkeitsfunktion erwies sich die bidirektionale akkumulierende Summenfunktion über die Histogramme der 2. Hauptkomponente als am besten geeignet. Dabei wird den jeweiligen Extremwerten der Histogramme ein Zugehörigkeitswert von 1 für die Kategorie ‚verändert‘ und dem Gipfel der Verteilung ein Zugehörigkeitswert von 0 zugewiesen. Die Fuzzy Index Werte wurden für alle 8 Indexschichten berechnet und dann mit einer ‚weichen‘ ODER Verknüpfung d.h. dem arithmetischen Mittelwert aggregiert.

In einer Raster GIS Routine wurden anschließend die statistischen Parameter der aggregierten Fuzzy Indizes in Abhängigkeit von den unterlagernden Landbedeckungsklassen generiert. Dabei zeigten sich signifikante Unterschiede von Mittelwerten, Minimum, Maximum und Standardabweichungen, so dass eine landbedeckungsspezifische Reskalierung der Fuzzy Indizes sinnvoll erschien. Z. B. wurde die Schwelle von verändert zu nicht verändert bei Klassen mit geringer Veränderungsdynamik wie Wasser und dichte Bebauung niedriger angesetzt als bei Acker- oder Grünland. Als Kriterium für verändert wurde ein um mehr als eine Standardabweichung gegenüber dem Mittelwert erhöhter aggregierter Veränderungsindex angenommen. Die Differenz vom Schwellwert zum Maximum wurde in 3 äquidistante Intervalle aufgeteilt und drei Intensitätsklassen (gering, mittel, hoch) zugewiesen. Das Zwischenprodukt stellt eine Veränderungskarte in drei abgestuften Veränderungsintensitäten dar.

Im Testgebiet Kreis Schleswig – Flensburg ergab sich eine Zuweisung von 4,7% der gesamten Fläche zur Kategorie hoch und jeweils 1,7% zu den Kategorien mittel und gering. Das Verfahren ist gut geeignet, um Ausdehnung und Intensität auch gradueller Veränderungen zu erfassen. Ein Rückschluss auf die Art der Veränderung ist jedoch nur durch Einbeziehung von zusätzlichen Datenebenen möglich.

Die Validierung der Veränderungsgebiete erfolgte mit einem von den Kreisverwaltungen zur Verfügung gestellten und durch das Projekt digital aufbereiteten Datensatz zu veränderungswirksamen Verwaltungsvorgängen (z.B. Kiesabbaugenehmigungen, Deponierekultivierungen, Bebauungsplanverfahren). Dabei konnte eine signifikant höhere Veränderungsintensität in den Validierungsgebieten gegenüber der Umgebung ermittelt werden.

Auf Grundlage der graduellen Veränderungskarten erfolgte eine Bewertung der Naturschutzrelevanz. Zunächst wurden Veränderungen durch Fruchtwechsel auf Ackerparzellen und Mahd auf Grünlandstandorten durch Maskenoperationen aus-

geschlossen. Nutzerdefinierte Relevanzkriterien basieren auf dem naturschutzrechtlichen Status der Flächen. Das LANU stellte dazu einen digitalen Datensatz mit den Grenzen von

- a) Naturschutzgebieten
- b) Landschaftsschutzgebieten
- c) Biotopverbundsystemen

zur Verfügung. In einem Raster GIS-Modell wurde eine Kriterientabelle mit den Merkmalen Veränderungsintensität und Schutzstatus implementiert, die nach den Vorgaben des Anwenders jedem Pixel eine Prioritätsstufe für die Fortschreibung der Biotoptypenkartierung zuweist. Am Fallbeispiel des NSG Hohner See und Umgebung soll dies veranschaulicht werden (Abb. 3):

Der Hohner See ist einer der wenigen noch erhaltenen Flachwasserseen mit 1–2 m Wassertiefe in Schleswig Holstein und mit seinen unmittelbaren Randberei-

chen als Naturschutzgebiet ausgewiesen. Eine besondere Gefährdung ist durch den diffusen Nährstoffeintrag und die damit einhergehende Eutrophierung des Gewässers gegeben. Veränderungen der landwirtschaftlichen Nutzung und der abiotischen Standortbedingungen (Vernässung) werden daher erhebliche Auswirkungen auf den Stoffhaushalt haben. In einem von der EU geförderten Naturschutzprojekt zur Regeneration der Feuchtgebiete um den Hohner See wurde 1992 ein Stauwehr zur Anhebung des Grundwasserspiegels im Winter errichtet. Darüber hinaus wurden Drainagegräben geschlossen und Verträge mit den Bauern abgeschlossen, um eine Nutzungsextensivierung in einer Pufferzone zu erreichen. Infolge dieser Maßnahmen konnte zumindest teilweise eine Regeneration der typischen Feuchtgebietsvegetation wie z.B. die Ausbreitung von Seggenwiesen festgestellt werden. Signifikante Veränderungen erge-

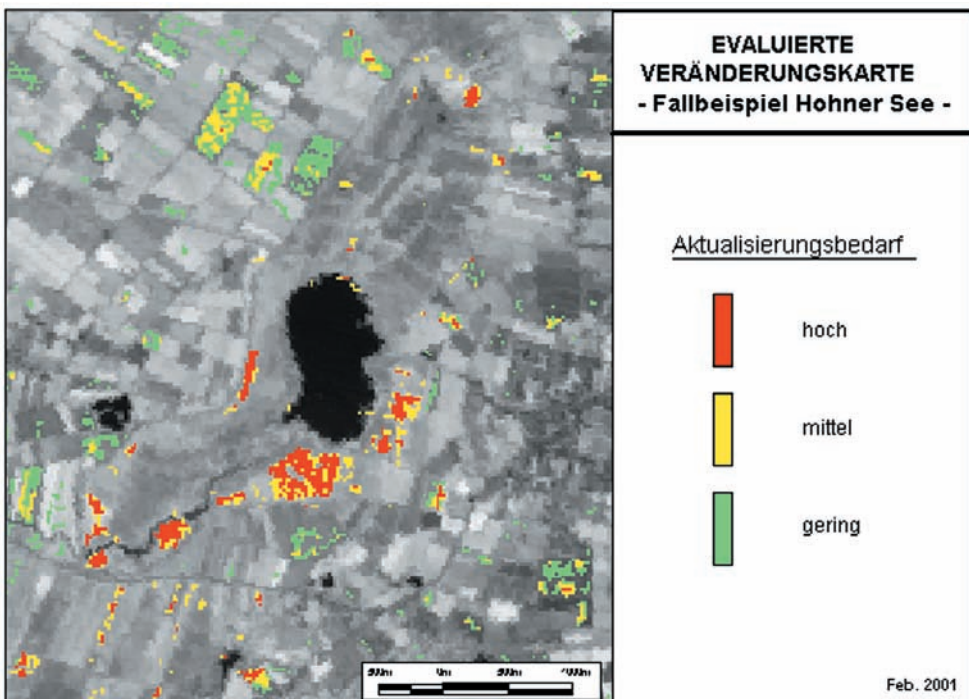


Abb. 3: Evaluerte Veränderungskarte – Fallbeispiel Hohner See.



ben sich auch im Bereich des Schilfgürtel, die einer Überprüfung im Gelände bedürfen. Mit Hilfe der evaluierten Veränderungskarte (vgl. Abb. 3) kann die Nacherhebung der Biotoptypenkartierung in diesem Gebiet selektiv vorgenommen und damit erhebliche Ressourcen eingespart werden. Eine Übertragung des Ansatzes auf die gesamte Landesfläche von Schleswig-Holstein würde nach einer im Rahmen von MoBio erstellten Kosten-/Nutzenanalyse zu einer Kosteneinsparung von 51 in einem konservativen Szenario und 74 % bei einer vollen Anwendung des Moduls gegenüber dem herkömmlichen Verfahren führen.

## 6 GIS Modelle zur Bewertung von Landschaftsfunktionen und Habitaten

Die abiotischen landschaftsökologischen Funktionen sind die Schlüsselfaktoren zur Bewertung des Biotoppotentials einer Landschaft. Die von B. SCHADE (1999) auf Grundlage der Bewertungsanleitung zum Leistungsvermögen des Landschaftshaushaltes (BALV) (vergl. MARKS et al. 1992) durchgeführte Bewertung von ausgewählten abiotischen Landschaftsfunktionen wurde in einem Raster GIS Modell integriert, um geeignete Habitatflächen für repräsentative Vogelarten wie Brachvogel und Weißstorch in einem multikriteriellen Verfahren zu ermitteln.

Im Einzelnen wurden folgende thematischen Datenschichten aus der Funktionsbewertung für die Abgrenzung der Vogelhabitate herangezogen:

- Nitratrückhaltevermögen
- Winderosionswiderstand als Näherungsparameter für Stabilität des Bodenaggregatgefüges
- Grundwasserneubildung und -flurabstand
- Landnutzung (aus Landsat TM Daten)
- Kleingewässermaske generiert aus einem IRS 1C pan Bild
- Bodenfeuchte

Eine eingehende Auswertung von Spezialliteratur und regionalen zoologischen Felduntersuchungen ergab folgende Habitatansprüche der untersuchten Vogelarten:

Wiesenvögel

- halbnatürliches Offenland mit geringer Mahdintensität
- hohe Bodenfeuchte aber keine permanent wassergesättigten Bedingungen im Oberboden
- Nähe zu Kleingewässern als Indikator für das Vorkommen von Amphibien als Beutepopulation
- schwache bis mäßige Aggregation des Bodengefüges um das Picken nach Anneliden zu ermöglichen
- kein oder nur geringer Nitratreintrag
- keine Einwirkung von Landwirtschaftsmaschinen

Weißstorch

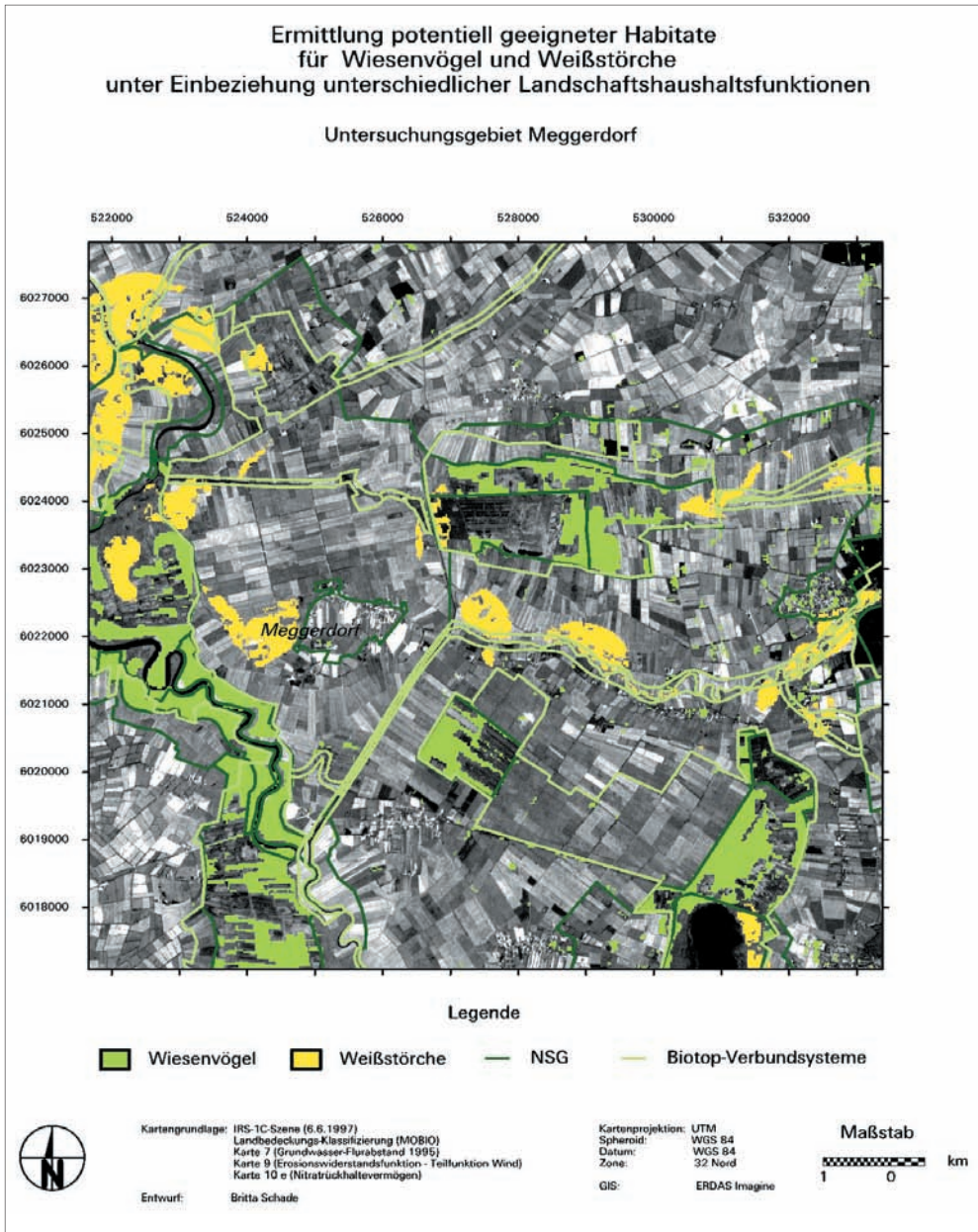
- Nähe zu permanenten Stillgewässern
- Wiesen mit kurzem Graswuchs zur guten Identifikation von Beutetieren
- hoher Bodenfeuchtestatus
- Ausschluss trockener Böden
- geringer Nitratreintrag

Die oben genannten Kriterien wurden in einem Regelwerk formalisiert und in einem GIS Modell implementiert, das zu einer räumlich expliziten und detaillierten Ergebniskarte der optimalen Habitatbedingungen der genannten Vogelarten führt. Die Habitatkarte kann mit den tatsächlich ausgewiesenen Naturschutzgebieten und Biotopverbundkorridoren verglichen werden (vgl. Abb. 4).

Diese Darstellung erlaubt flächenkonkrete Planungsempfehlungen für eine Optimierung der Schutzgebiete. Z. B. haben einige der ermittelten Habitatflächen entlang der Sorge und westlich von Meggersdorf keinen Schutzstatus und legen eine Ausweitung der Schutzgebiete nahe. Insgesamt besteht aber eine hohe Übereinstimmung zwischen ausgewiesenen Schutzzonen und den Habitatansprüchen der beiden Vogelarten.

## 7 Schlussfolgerungen und Perspektiven der Operationalisierung

Anhand von 3 Operationalisierungsszenarien konnte im Pilotprojekt MoBio die Kosteneffizienz des Einsatzes von Satellitenfernerkundung am Beispiel der landesweiten Aktualisierung der Biotoptypenkarten in



**Abb. 4:** Potentielle Habitatflächen für Weißstorch und Wiesenvögel.

Schleswig Holstein nachgewiesen werden. Als Referenz diente eine Nullvariante d. h. Beibehaltung der bisherigen Praxis mit landesweiter Befliegung und visueller Interpretation des analogen Bildmaterials. Bei einem Preis von 492,- DM pro km<sup>2</sup> Landesfläche bedeutet die visuelle Interpretation des Luft-

bildmaterials durch geschulte Interpreten den Hauptkostenfaktor.

In einem konservativen Ansatz (Szenario 1) wird auf die Befliegung nicht verzichtet, die Interpretation der Luftbilder wird jedoch nur noch für Naturschutzgebiete, Biotopverbundgebiete und §15a Biotope

durchgeführt. Für die restlichen Bereiche wird nur noch bei positiver Indikation durch das Change Detection Verfahren eine Interpretation durchgeführt. Sie entfällt damit für ca. 60 % der Landesfläche, wodurch die Erhebungskosten auf 258,- DM pro km<sup>2</sup> sinken.

Das Szenario 2 beinhaltet eine landesweite Anwendung des Change Detection Verfahrens unter Beibehaltung der Luftbildbefliegung. Nur für ca. 15 % der mit dem Relevanzbewertungsverfahren ermittelten Flächen wird eine Interpretation und Neukartierung durchgeführt. Die Kosten sinken dabei auf 152,- DM/km<sup>2</sup>. In einem hoch innovativen Ansatz (Szenario 3) wird dagegen auf die Luftbildbefliegung ganz verzichtet und eine semiautomatische Aktualisierung der Biotoptypenkarten ausschließlich auf Grundlage von Satellitendaten durchgeführt. Die Change Detection erfolgt objektorientiert und unter Anwendung des Fuzzy Convolution Ansatzes unterstützt durch in Regelabfragen formalisiertes Expertenwissen. Die Fernerkundungsdaten umfassen auf 5 m resampelte Landsat TM und IRS 1 C panchromatische Daten (siehe oben) zur Ableitung von Texturparametern. Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens ist das Vorliegen einer landesweiten Ersterfassung der Biotypen in vektorisierter und attributierter Form. Der ermittelte Kostensatz von 136,- DM pro km<sup>2</sup> enthält die noch erforderliche zusätzliche Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Bei einer wiederholten Anwendung ist daher mit deutlich geringeren Kosten zu rechnen.

Durch den kombinierten Einsatz von flächendeckender Übersichtsklassifizierung, Detailklassifikation von Gebieten besonderer ökologischer Bedeutung und Veränderungsindikation als Managementinstrument für die Fortschreibung bestehender Datensätze können Ansätze der Satellitenfernerkundung sinnvoll in operative Naturschutzaufgaben integriert und erhebliche Kosten eingespart werden.

Die bei der Verwendung von Landsat TM Daten bestehenden Restriktionen hinsichtlich der räumlichen Auflösung und damit der Arbeitsmaßstäbe werden in naher Zukunft

durch die Verfügbarkeit sehr hoch auflösender Satellitendaten kommerzieller (1 m panchromatisch, 4 m multispektral) überwunden sein, die eine Bearbeitung auf Maßstäben von 1 : 5000 bis 1 : 10000 realistisch werden lassen. Ansatzweise konnten großmaßstäbige Lösungen bereits in diesem Beitrag durch den Einsatz der Fuzzy Konvolution für Landsat Daten mit künstlich erhöhter Auflösung und Einbeziehung panchromatischer IRS 1 C Daten gezeigt werden.

In Zukunft werden sehr hohe räumliche Auflösungen die Auswertung von Satellitendaten vor neue Herausforderungen stellen. Bewährte pixelorientierte Klassifikationsansätze wie Maximum Likelihood werden durch textur-, kontext- und objektorientierte Verfahren ergänzt werden müssen. Objektorientierte Verfahren auf Basis von bestehenden Vektorgeometrien aus Geodaten-sätzen (z.B. ATKIS, ALK, digitale Biotoptypenkarten) oder auf Grundlage von texturorientierten Bildsegmentierungen werden von besonderer Bedeutung sein. Die wachsende Verfügbarkeit von digitalen Geodaten (z.B. Boden, Vegetation, DHM) wird regelbasierte Klassifikationsansätze erheblich erleichtern.

Der praktische Nutzen von Fernerkundungsdaten und daraus abgeleiteten Produkten wird durch Entwicklung integrativer GIS-Anwendungen unter Einbeziehung zusätzlicher Fachdaten z.B. zur Bewertung von abiotischen Landschaftsfunktionen und Habitaten besonders geschützter Arten (vgl. SCHADE 1999, WEIERS et al. 2000) zusätzlich gesteigert. Diese Entwicklung wird durch den Aufbau von integrierten Umweltinformationssystemen in den Fachverwaltungen zusätzlich gefördert.

Dennoch sind für eine effiziente operationelle Anwendung noch bestehende technische und nutzerseitige Hemmnisse zu überwinden. Die mit der Sensorauflösung verbundenen Probleme werden in naher Zukunft überwunden sein. Für eine effizientere Nutzung wäre eine stärkere Standardisierung der Methodik wünschenswert. Eine volle Kompatibilität von nach Sachkriterien der Fachbehörden definierten Kartierschlüsseln und nach spektraler Trennbarkeit definierten Klassifizierungsschlüsseln der Satellitenfernerkundung wird je-

doch nicht erreichbar sein. Semantische Integration der unterschiedlichen Ansätze wird daher in Zukunft von wachsender Bedeutung sein.

Auf Seiten der (potentiellen) Nutzer in Umweltbehörden ist die Einführung neuer Technologien wie der Satellitenfernerkundung zunächst mit hohen Anfangsinvestitionen und Schulungsbedarf unter restriktiven Rahmenbedingungen wie Personalmangel und Kosteneinsparungsdruck konfrontiert. Darüber hinaus wird die Satellitenfernerkundung von Vertretern traditioneller Naturschutzdisziplinen wegen der noch bestehenden Auflösungsproblematik häufig skeptisch gesehen. Synergieeffekte aus der integrierten Modellierung von Geodatensätzen werden auf Grund verteilter Zuständigkeiten für Datenhaltung und Distribution in der operationellen Anwendung noch wenig genutzt. Die oben erläuterten Kosteneffekte eines operativen Einsatzes von Satellitenfernerkundung in sinnvoller Ergänzung etablierter Verfahren lassen jedoch für die nahe Zukunft eine höhere Akzeptanz erwarten.

### Danksagung

Die vorgestellten Ergebnisse wurden weitgehend im EU Projekt MoBio innerhalb des 4. Rahmenprogrammes Klima und Umwelt der Europäischen Union erarbeitet. Die Autoren danken der Europäischen Kommission für die Förderung auf Kostenteilungsbasis (Vertrag Nr. ENV4-CT96-0367).

Weiterhin möchten wir dem Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig Holstein – namentlich Herrn Dr. EBERHARD TSCHACH – für die sehr gute Zusammenarbeit und viele wertvolle Anregungen, vor allem aus naturschutzfachlicher und landschaftsplanerischer Sicht, herzlich danken.

Unseren Kollegen vom Dänischen Nationalen Umweltforschungsinstitut danken wir für den wertvollen Erfahrungsaustausch und die gute Kooperation.

### Literatur

BOCK, M., 1999: Integration von Geo- und Fernerkundungsdaten zum Monitoring von Feucht-

und Moorbiotopen am Beispiel eines Untersuchungsgebietes in der Eider-Treene-Sorge Niederung in Schleswig-Holstein. – Unveröff. Diplomarbeit, Universität Bonn

Bundesamt für Naturschutz, 1995: Systematik der Biotoptypen- und Nutzungskartierung (Kartieranleitung). – Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz. Bonn-Bad Godesberg

CHAVEZ P.S. & KWARTENG A.Y., 1989: Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **55** (3): 229–348.

MARKS R., MÜLLER, M. J., LESER, H. & KLINK, H. J. (Hrsg.), 1992: Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes. – *Forschungen zur Deutschen Landeskunde*, Band 229, Trier.

SCHADE, B., 1999: GIS-gestützte Bewertung von Bodenschutz- und Wasserhaushaltsfunktionen am Beispiel der Landschaft Stapelholm (Schleswig-Holstein). – Unveröff. Diplomarbeit, Universität Köln.

SWAIN, P.H. & S. M. DAVIS, 1978: Remote sensing: The quantitative approach. – New York

WEIERS, S., WISSEN, M., BOCK, M. & SCHADE, B., 2000: Integration of satellite data in a habitat monitoring GIS – a case study from Northern Germany. – In: FULLERTON, K. (Hrsg.): *Proceedings of the 5<sup>th</sup> EU GIS Workshop*, Stresa, Italy, 28 to 30 June 1999. European Communities print EUR 19018 EN

Project-Homepage:

<http://www.dfd.dlr.de/extern/MOBIO>

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geogr. MICHAEL BOCK,  
e-mail: Michael.Bock@dlr.de

Dr. rer. nat. STEFAN WEIERS,  
e-mail: Stefan.Weiers@dlr.de

Dipl.-Geogr. MICHAEL WISSEN,  
e-mail: Michael.Wissen@dlr.de

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD), Umwelt und Geoinformation, Linder Höhe, D-51147 Köln

Dipl.- Geogr. BRITTA SCHADE,  
e-mail: Britta.Schade@dlr.de

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Büro VO-S, Linder Höhe, 51147 Köln

Manuskript eingereicht: Februar 2001  
Angenommen: März 2001