

KLIWAS Schriftenreihe KLIWAS-15/2013

Querschnittsaufgabe Fernerkundung

**Synoptische Betrachtung fernerkundungs-
gestützter Vegetationserfassung - ihre
Genauigkeit, Unsicherheiten und Grenzen**

Koblenz, im Februar 2013

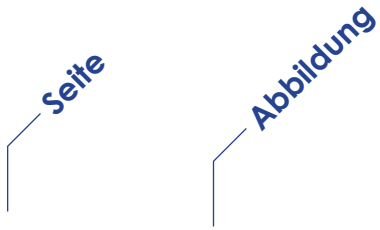


Seite

Kapitel

Inhaltsverzeichnis

01		ZUSAMMENFASSUNG
03	1	EINLEITUNG
05	2	THEMENSCHWERPUNKTE DER QUERSCHNITTAUFGABE FERNERKUNDUNG
05	2.1	ZUSAMMENFASSENDE DARSTELLUNG DES TEILPROJEKTS „ANALYSE VON STÖRSTELLEN, RÖHRICHT- UND NEOPHYTENARTEN“
06	2.2	ZUSAMMENFASSENDE DARSTELLUNG DES TEILPROJEKTS „KONZEPTION FÜR EIN LANGZEITMONITORING DER GEZEITENBEEINFLUSSTEN VEGETATION MIT HOCHAUFLÖSENDEN SATELLITENDATEN“
08	2.3	ZUSAMMENFASSENDE DARSTELLUNG DES TEILPROJEKTS „MODELLIERUNG UND VISUALISIERUNG VON UNSICHERHEITEN HINSICHTLICH DER PROJEKTERGEBNISSE“
13	3	POTENZIALDISKUSSION DER ANGEWENDETEN FERNERKUNDUNGSVERFAHREN
13	3.1	POTENZIALDISKUSSION VON FLUGZEUGGESTÜTZTEN HYPERSPKTRALSSENSOREN
15	3.2	POTENZIALDISKUSSION VON SATELLITENGESTÜTZTEN MULTISPEKTRALSSENSOREN
17	3.3	POTENZIALDISKUSSION ZUR ANALYSE UND VISUALISIERUNG VON UNSICHERHEITEN
19	4	NUTZEN DER ERGEBNISSE FÜR KLIWAS 3.09 UND DARÜBER HINAUS
23	5	AUSBLICK
25		LITERATUR
27		AUTORENVERZEICHNIS



Abbildungsverzeichnis

04	1-1	STRUKTUR DER QUERSCHNITTSAUFGABE FERNERKUNDUNG IN KLIWAS 3.09
07	2-1	KONZEPTIONELLER ANSATZ FÜR EIN LANGZEITMONITORING DER VORLANDVEGETATION AUF DER BASIS VON RAPIDEYE-DATEN
10	2-2	DEFINITION DER UNSICHERHEITEN UND DARSTELLUNG DER MODELLIERTEN UNSICHERHEITEN

Zusammenfassung

Im Rahmen des KLIWAS-Projekts 3.09 „Ästuarvegetation und Vorland-schutz“ wird untersucht, in wieweit sich die Vorlandvegetation klimabe-dingt verändern könnte und somit auch deren Eigenschaften und Funktionen (z. B. der Vorlandschutz). Mit Hilfe von zu entwickelnden Habitat- und Populationsmodellen sowie mit Untersuchungen zur Störungsökologie sollen klimasensitive Vorlandbereiche von Elbe und Weser identifiziert werden. Zur Erfassung des Ist-Zustandes in Hinblick auf die konkreten Fragestellungen wurden neben Untersuchungen im Gelände unterschiedli-che Methoden der Fernerkundung getestet, evaluiert und angewendet. Neben der Erfassung von Vegetation und Störungen im Röhrichtgürtel zur Beantwortung der zentralen Projektfragen, wurde durch die Quer-schnittsaufgabe Fernerkundung ferner geprüft, welchen Mehrwert an Information aktuelle, spektral und räumlich unterschiedlich auflösende Sensortechnologien für das Vorland- und Ästuarmonitoring mit sich bringen können im Vergleich zu den bisher eingesetzten und etablierten Sensoren und Methoden. Analysen und Visualisierungen von Unsicherheiten sollen zudem eine nachvollziehbare und objektivierbare Interpretierbarkeit der Ergebnisse ermöglichen. Folgende Ziele wurden deshalb definiert:

- Konzeption eines kosten- und zeitoptimierten fernerkundungsgestütz-ten Langzeitmonitorings der gezeitenbeeinflussten Ästuarvegetation (Teilprojekt der Arbeitsgruppe Kleinschmit, TU Berlin),
- Identifizierung von Störstellen und Neophyten (Teilprojekt der Arbeitsgruppe Schmidlein, Universität Bonn),
- Nutzung von Unsicherheiten als Zusatzinformation (Teilprojekt der Arbeitsgruppe Schiewe, HCU Hamburg),
- Schlussfolgerungen für die Praxis.

Die wichtigsten Ergebnisse der Teilprojekte werden in komprimierter Form dargestellt. Die Potenzialdiskussionen der einzelnen Teilprojekte münden jeweils in eine Bewertung der verwendeten Verfahren und Sensoren hinsichtlich ihrer Anwendung, ihrer Vor- und Nachteile sowie ihrer Grenzen.

Schließlich werden die Nutzbarkeit einzelner Ergebnisse erläutert und Empfehlungen für die zukünftige Anwendung formuliert. Im Ausblick wird zukünftiger Forschungs- und Handlungsbedarf definiert. Mit diesem Heft der KLIWAS-Schriftenreihe leistet die Querschnittsaufgabe Fernerkundung

KLIWAS-Projekt 3.09

des KLIWAS-Projektes 3.09 einen Beitrag zum Wissenstransfer an der
Schnittstelle von Wissenschaft und Praxis.

Bundesanstalt für
Gewässerkunde
HafenCity-Universität
Hamburg
Technische Universität
Berlin
Universität Bonn

Querschnittsaufgabe
Fernerkundung
Synoptische Betrachtung
fernerkundungsgestützter
Vegetationserfassung –
ihre Genauigkeit,
Unsicherheiten und
Grenzen

Datum 15.02.2013

Seite 2

1 Einleitung

Die Ästuare der Nordsee unterliegen einer quasi-natürlichen – da anthropogen überprägten – hydromorphologischen Dynamik. Diese Dynamik prägt u. a. Struktur und Artenzusammensetzung der Vorlandvegetation. Im Rahmen des KLIWAS-Projekts 3.09 „Ästuarvegetation und Vorlandschutz“ wird untersucht, in wieweit sich die Vorlandvegetation klimabedingt verändern könnte und somit auch deren Eigenschaften und Funktionen (z. B. der Vorlandschutz). Mit Hilfe von zu entwickelnden Habitat- und Populationsmodellen sowie Untersuchungen zur Störungsökologie sollen klimasensitive Vorlandbereiche von Elbe und Weser identifiziert werden.

Zur Erfassung des Ist-Zustandes der Vegetation und Störungen in den Untersuchungsgebieten werden neben Aufnahmen im Gelände Fernerkundungsmethoden getestet, evaluiert und angewendet. Zum einen ist von großem Interesse, in wieweit eine zeitlich und spektral höhere Auflösung der Reflexionsmuster von Auen- bzw. Marschvegetation durch multitemporale Bilderfassung und hyperspektrale Sensoren gewinnbringend für das Verständnis der Ästuarökologie ist. Zum anderen soll ein Konzept für ein Langzeitmonitoring entwickelt werden, um Veränderungen durch qualitative und quantitative Erfassung zu dokumentieren, um sie anschließend in einer raum-zeitlichen Analyse auszuwerten. Somit können Ziele für die Ufer- und Vorlandunterhaltung bestätigt, angepasst oder neu gesteckt werden. Für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung stellt sich in diesem Zusammenhang u. a. die Fragen, welche Unsicherheiten Ergebnisse der Fernerkundung und der Modellierung beinhalten, die in der Regel aufgrund der modernen Technologie sehr absolut erscheinenden, und ob aktuelle Innovationen in der Satellitentechnologie in Deutschland flugzeuggestützte Sensoren ablösen können, mit dem Ziel, Fragestellungen des Vorland- und Ästuarmanagements möglichst effizient zu beantworten.

Aus diesen Zielen entwickelte sich die Querschnittsaufgabe Fernerkundung innerhalb des KLIWAS-Projektes 3.09. Sie besteht zunächst aus drei Themenschwerpunkten, die auf der Ebene der Projektarbeit anzusiedeln sind (siehe Abbildung 1-1). Sie befassen sich mit folgenden Forschungsfragen:

- Bis zu welchem Skalenniveau können verschiedene Typen von Störungen im Röhrichtgürtel verlässlich voneinander unterschieden werden?
- Wie gut lassen sich Vegetationstypen und Pflanzenarten (u. a. invasive Neophyten) detektieren?

- Welche Vor- und Nachteile bietet die satellitengestützte gegenüber der flugzeuggestützten Luftbilderfassung hinsichtlich eines Langzeitmonitorings zur Beobachtung von Auwald- und Röhrichtentwicklung?
- Welche Unsicherheiten lassen sich wie modellieren und wie lassen sich diese Ergebnisse als Zusatzinformation visualisieren?

Die Ergebnisse und Produkte, die auf Projektebene erarbeitet wurden, fließen in die Transferebene. Dort liefern sie die Grundlage für eine Zusammenschau (Synopsis) der oben erläuterten Querschnittsaufgabe. In dieser werden zunächst die einzelnen Themenschwerpunkte mit ihren wichtigsten Ergebnissen in Form von Zusammenfassungen wiedergegeben, bevor eine Potenzialdiskussion der angewendeten Fernerkundungsverfahren erfolgt. Mit Hilfe dieser kann der jetzige und zukünftige Nutzen abgeleitet werden. Die Synopsis wird mit einem Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf abgerundet.

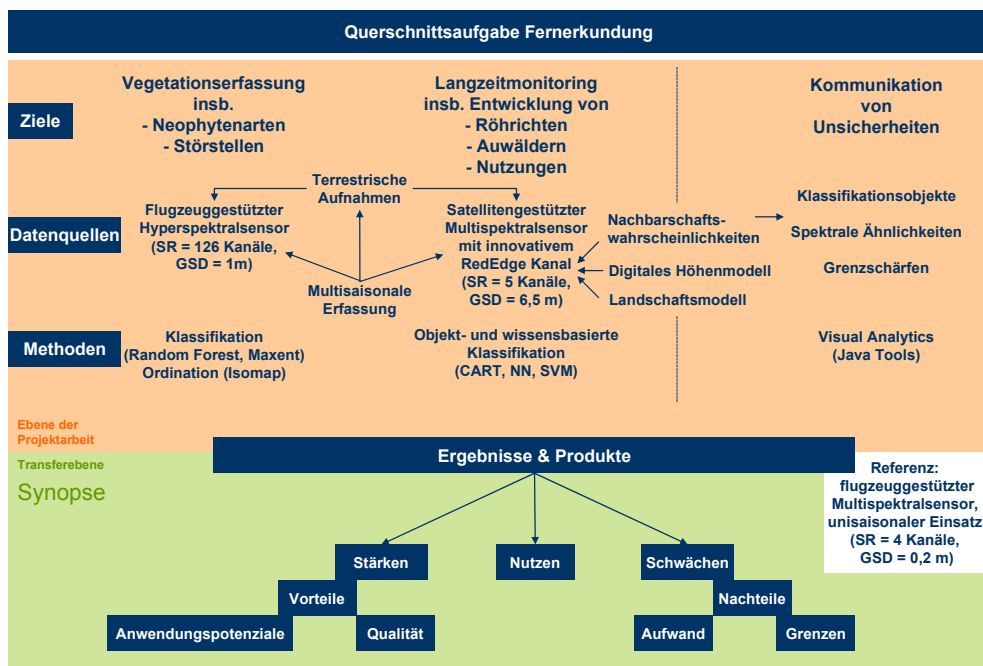


Abbildung 1-1: Struktur der Querschnittsaufgabe Fernerkundung in KLIWAS 3.09, SR = Spectral Resolution, GSD = Ground Sample Distance, CART = Classification and Regression Trees, NN = Nearest Neighbour, SVM = Support Vector Machine

2 Themenschwerpunkte der Querschnittsaufgabe Fernerkundung

2.1 Zusammenfassende Darstellung des Teilprojekts „Analyse von Störstellen, Röhricht- und Neophytenarten“

Das **Ziel** des Teilprojektes war die Analyse von Verteilungsmustern von Pflanzenarten (u. a. Röhricht- und Neophytenarten) innerhalb sowie in der Umgebung von Störstellen, wobei über phänologische Prozesse hinausgehenden, intra-annuellen Veränderungen besondere Aufmerksamkeit zuteil wird (FAUDE et al. 2011, FAUDE & SCHMIDTLEIN 2012). In diesem Teilprojekt wurde ausgelotet, wie beobachtete Muster und ggf. deren Veränderungen mit neuen Verfahren der abbildenden Spektroskopie zur Darstellung gebracht werden können. Als Alternative zu herkömmlichen Klassifikationsverfahren wurden graduelle Unterschiede im Raum abgebildet. Im Untersuchungsgebiet ergaben sich erhebliche methodische Schwierigkeiten durch die fehlende räumliche Stationarität in den Beziehungen zwischen Reflexion und Vegetationsmerkmalen. Die Arbeiten liefern auch einen Beitrag zum Umgang mit diesem Problem.

Die **Methoden** basierten auf der Verwendung geeigneten hyperspektralen Bildmaterials. Zusätzlich erfolgten Feldaufnahmen der Vegetationsattribute in stratifiziert-randomisierten Stichproben und deren Vorprozessierung (i. d. R. durch Ordinationen wie *Isomap* oder *Nichtmetrische Multidimensionale Skalierung* der Artinformation). Auf dieser Grundlage konnten Regressionsverfahren (wie *Partial Least Squares Regression*) zwischen Feld- und Bilddaten durchgeführt werden.

Auch wenn die geringe Anzahl an Fundpunkten für die beiden Neophytenarten Japan-Knöterich (*Fallopia japonica*) und Drüsiges Springkraut (*Impatiens glandulifera*) keine Validierung der Modelle zuließ, sind die **Ergebnisse** doch vielversprechend. Insbesondere der Japan-Knöterich ließ sich trotz der sehr geringen Anzahl an Trainingsflächen mittels *Random forest* sehr genau kartieren.

Eine Klassifikation erwies sich im Untersuchungsgebiet als besser geeignet als die Gradientenverfahren. Der Grund lag in den hier auftretenden Reflexionsunterschieden innerhalb von Beständen gleicher Artenzusammensetzung oder gleichen Störzustandes. Dies führte dazu, dass sich die Reflexionsverhältnisse nicht gleichsinnig mit den Zielvariablen ändern, was

ein Problem für die Gradientenkartierung darstellte, in der Klassifikation aber durch die Bildung von Unterklassen aufgefangen werden konnte. Trotzdem wurde für das Untersuchungsgebiet Eschschallen mittels der Gradientenkartierung ein plausibles Ergebnis erzielt.

Die Klassifikationen auf Basis der AISA-Daten lieferten detaillierte Informationen zur Artenzusammensetzung der Röhrichte. Bei einigen Klassen bestanden Unsicherheiten bezüglich ihrer genauen Identifizierung. Gründe für Unsicherheiten sind namentlich in der durch mechanische Umwelteinflüsse, z. B. Windwurf, unterschiedlichen Reflexion von Beständen gleicher Artenzusammensetzung zu suchen.

2.2 Zusammenfassende Darstellung des Teilprojekts „Konzeption für ein Langzeitmonitoring der gezeitenbeeinflussten Vegetation mit hochauflösenden Satellitendaten“

Die Fernerkundung mit hochauflösenden (spektral, räumlich und zeitlich) Satellitendaten birgt für die kontinuierliche Beobachtung und die Erfassung quantitativer und qualitativer Veränderungen der gezeitenbeeinflussten Vegetation des Elbeästuars ein großes Potenzial. **Ziel** des Teilprojekts „Konzeption für ein Langzeitmonitoring der gezeitenbeeinflussten Vegetation mit hochauflösenden Satellitendaten“ des KLIWAS-Projekts 3.09 war, dieses Leistungsvermögen in drei Untersuchungsgebieten entlang des Elbeästuars zu untersuchen (BAHLS & KLEINSCHMIT 2012). Im Vordergrund stand der seit 2009 operierende hochauflösende RapidEye-Satellitensensor. Satellitendaten aus den Frühjahrs- und Sommermonaten 2009 und 2010 wurden aus dem RapidEye Science Archive für die Untersuchung zur Verfügung gestellt. Als Trainings- und Validierungsdaten standen terrestrische Vegetationsaufnahmen sowie Klassifikationsergebnisse vom Teilprojekt „Analyse von Störstellen, Röhricht- und Neophytenarten“, eigene Aufnahmen sowie Aufnahmen aus dem Arbeitsbereich „Störungsökologie“ (BfG) zur Verfügung.

Für die flächendeckende Kartierung als Grundlage für das Monitoring wurde eine objektbasierte **Klassifikationsmethode** unter Anwendung verschiedener dem Stand der Forschung entsprechende Ansätze getestet:

- Nearest Neighbour (NN),
- Classification and Regression Trees (CART),
- Support Vector Machine (SVM).

Neben den Spektralkanälen wurden Indices sowie weitere Zusatzdaten wie das Digitale Geländemodell (DGM) und Expertenwissen in Form von Nachbarschaftsbeziehungen in die Klassifikation eingebunden. Es wurde ein hierarchischer Ansatz gewählt, bei dem das Gebiet auf der ersten Ebene in Landnutzungs-/Landbedeckungs-Klassen (LULC) und auf der zweiten Ebene in Biotoptypen klassifiziert wurde. Neben den Dominanzarten wurde auf der Stufe der Biotoptypen die Erkennbarkeit von Störstellen untersucht.

LULC-Klassen konnten sicher erfasst werden. Auch die Trennung der Watt-Vegetationsgrenze ist bei Niedrigwasser auf dieser Ebene gut möglich. Der Algorithmus ist robust und lässt eine Übertragbarkeit auf andere Gebiete und Aufnahmezeitpunkte zu. Ein **Ergebnis** war somit, dass sich bereits auf der LULC-Ebene im Rahmen eines Monitorings ein Überblick über Veränderungen gewinnen und für ein Langzeitmonitoring nutzen lässt.

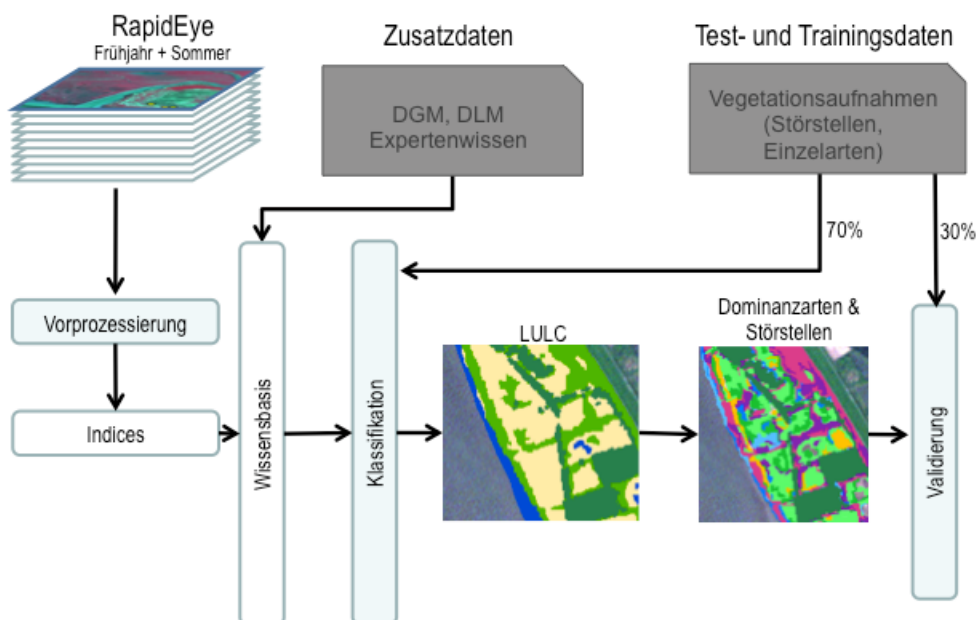


Abbildung 2-1: Konzeptioneller Ansatz für ein Langzeitmonitoring der Vorlandvegetation auf der Basis von RapidEye-Daten

Bei einer ausreichenden und optimal verteilten Anzahl von Referenzdaten (mind. 30 je Klasse, mind. 200 m² Größe) ist eine sichere Klassifikation der Biotoptypen möglich. Der Einbezug von Zusatzdaten und Expertenwissen verbessern die Ergebnisse deutlich. Die kleinste zu erfassende Einheit hat auflösungsbedingt eine Größe von 200 m², was für ein Langzeitmonitoring der gesamten Tideelbe als ausreichend angesehen wird. Aufgrund der räumlichen und zeitlichen Heterogenität der Vegetationsflächen ist eine Übertragbarkeit auf andere Flächen und zu anderen Aufnahmezeitpunkten auf Biotoptypen-Ebene nach Anpassungen des Algorithmus möglich.

Die Erkennung von unterschiedlichen Typen von Störstellen ist ausschließlich in Frühjahrsaufnahmen möglich. Als sicherste Klasse konnten Treibsel erkannt werden. Ausgewählte als invasiv eingestufte Neophyten konnten aufgrund fehlender Referenzdaten in den Untersuchungsgebieten mit den RapidEye-Daten nicht sicher erfasst werden.

Bei den Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass im Vergleich zum Luftbild RapidEye als ein Fernerkundungssystem für ein **Langzeitmonitoring** der Ästuarvegetation je nach Fragestellung begrenzt geeignet ist. Voraussetzung ist die Verfügbarkeit einer Frühjahrs- und einer Sommerszene. Größte Herausforderung stellt die Datenbeschaffung bei Niedrigwasser dar. Durch die hohe Wiederholrate kann jedoch mit mindestens zwei brauchbaren Szenen pro Vegetationsperiode gerechnet werden. Insbesondere die gegenüber einer flugzeuggestützten Mission deutlich geringeren Kosten und schnelleren Lieferzeiten der Daten sprechen für das satellitengetragene System.

2.3 Zusammenfassende Darstellung des Teilprojekts „Modellierung und Visualisierung von Unsicherheiten hinsichtlich der Projektergebnisse“

Wenn raum-zeitliche oder statistische Daten als Grundlage für Veränderungsanalysen herangezogen werden und daraus abgeleitete Informationen als Planungs- oder Entscheidungsgrundlage dienen sollen, sind eine Evaluierung der Ergebnisse und eine Dokumentation bzw. Kommunikation der inhärenten Unsicherheiten unabdingbar. Das **Ziel** dieses Teilprojektes bestand in der Kommunikation von Unsicherheiten, um damit nicht nur aussagekräftigere Informationen, sondern auch die Möglichkeit für Sensitivitätsanalysen zu ermöglichen, aus denen wertvolle Rückschlüsse auf den Prozess der Datengewinnung und -verarbeitung gewonnen werden können.

Die Umsetzung dieses Ziels bedingte im ersten Schritt eine Anforderungsanalyse der potenziellen Nutzer. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden Methoden zur Modellierung und Visualisierung der Unsicherheiten ausgewählt, angepasst und implementiert (KINKELDEY & SCHIEWE 2013). Schließlich erfolgte die Integration der Unsicherheitsinformationen in das webbasierte GIS-Portal der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG).

Die vorangestellte **Anforderungsanalyse** sollte klären, welche Unsicherheitsinformationen für verschiedene Nutzergruppen relevant sind und wie sie tatsächlich genutzt werden bzw. werden könnten. Hierzu wurde ein webbasierter Fragebogen entwickelt und an Personen aus den Nutzergrup-

pen Naturschutz und Landnutzung, Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) sowie Wissenschaft verteilt. Die Auswertung ergab wichtige Erkenntnisse zur generellen Nutzung, den gewünschten Inhalten sowie den (kartographischen) Darstellungen und den möglichen Interaktionen mit diesen Darstellungen, die in die folgenden Arbeitsschritte einfließen.

Im nächsten Schritt erfolgte die **Modellierung der Unsicherheiten**, die im Prozess der Datenerfassung und -auswertung entstehen. Aufgrund der Komplexität sowie der unterschiedlichen Nutzeransprüche wurde ein gemischter bzw. selektiver Ansatz mit qualitativen und quantitativen Beschreibungen verfolgt:

- Zum einen wurden die thematischen *Objektunsicherheiten* (siehe Abbildung 2-2) berücksichtigt (Güte einer Klassenzuweisung zu einer bestimmten Fläche). Hierzu wurden die Werte aus den sog. *Rule Images* (siehe Teilprojekt der Universität Bonn) sowie der Klassenzugehörigkeiten (siehe Teilprojekt der TU Berlin) herangezogen. Als Ergebnis erhält man ein Punktraster mit Unsicherheitswerten.
- Zum anderen wurden *Unsicherheiten im Grenzverlauf* betrachtet (Güte der Abgrenzung zwischen benachbarten Objekten). Hierzu wurden mit Hilfe von Expertenwissen verschiedene Matrizen aufgestellt, in denen auf einer Ordinalskala die Ähnlichkeit zwischen gegebenen Klassen, die Grenzscharfe zwischen Klassenpaaren sowie die Nachbarschafts-Wahrscheinlichkeiten (siehe Abbildung 2-2) beschrieben wurden. Daraufhin wurden die Grenzen der klassifizierten Daten entsprechend ihrer Nachbarschaften zerlegt und je nach Klassenkombination an jede Teilgrenze die entsprechenden Unsicherheitswerte aus den Matrizen angefügt.

Grundsätzlich stellen die Unsicherheitsinformationen nur einen weiteren Parameter bei der kartographischen **Visualisierung** der notwendigen Geo- und Fachdaten dar. Da das Phänomen allerdings flächendeckend auftritt, stellt sich die Frage, ob die Darstellung in getrennten Karten (mit unerwünschte Blicksprünge) oder integriert in einer Karte (mit unerwünschten Überdeckungen) erfolgen soll. Nach dem Test verschiedener Varianten wurde beschlossen, für die Objektunsicherheiten die Visualisierungsmethode der integrierten *Annotation Lines* zu verwenden, die zum Ziel hat, durch eine abstrakte Gitter-Darstellung eine möglichst geringe Überdeckung anderer Inhalte zu gewährleisten. Hierbei kann das Gitter auf diverse Arten modifiziert werden, in unserem Fall wurde die Unschärfe durch Rauschen wiedergegeben (siehe Abbildung 2-2; für Details siehe: KINKELDEY & SCHIEWE 2013). Analog zu dieser flächenhaften Beschreibung durch ein regelmäßiges Gitter können die Grenzunschärfen durch linienhafte

GhostLines repräsentiert werden. Als Ergebnis erhält man jeweils GeoTIFF-Bilddaten, die im Folgenden im webbasierten GIS verwendet werden können.

Zur tatsächlichen **Nutzung** erfolgte einer Einbindung der Unsicherheitsinformationen zusammen mit den relevanten Geo- und Fachdaten in das **webbasierte Geoportal** der Bundesanstalt für Gewässerkunde.

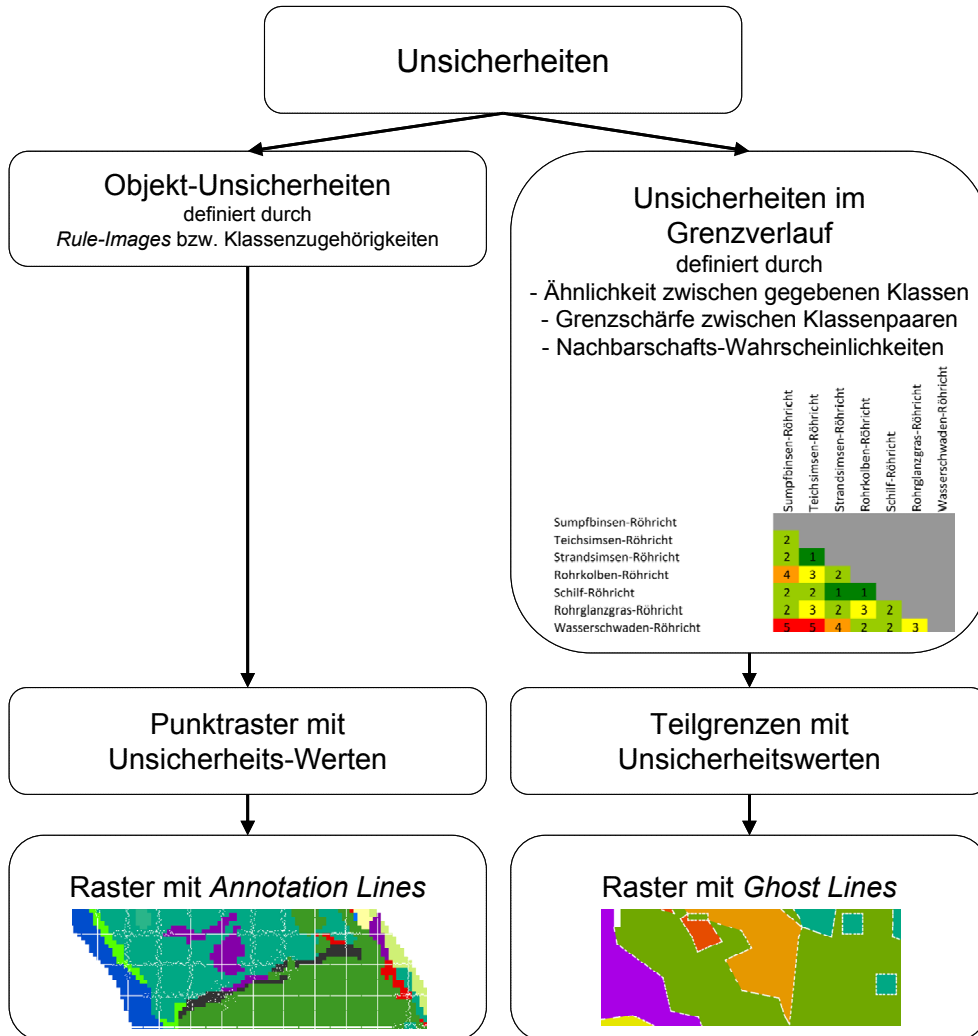


Abbildung 2-2: Definition der Unsicherheiten und Darstellung der modellierten Unsicherheiten

Im Einzelnen wurden folgende Datensätze integriert: AISA Eagle-Bilder, klassifizierte Biotoptypen aus AISA Eagle, Unsicherheitslayer zu den klassifizierten Biotoptypen aus AISA, Gradientenkarte, Unsicherheitslayer zur Gradientenkarte, RapidEye-Szenen, klassifizierte Biotoptypen aus RapidEye, Unsicherheitslayer zu klassifizierten Biotoptypen aus RapidEye, ältere Biotopkartierungen, ältere digitale Luftbilddaten sowie terrestrische Erhebungen.

Bei der technischen Umsetzung ergab sich die besondere Herausforderung, dass eine einheitliche Georeferenzierung aller Daten hergestellt werden musste. Die WebGIS-Implementierung erfolgt unter Einsatz der Produkte *GeoServer* (<http://geoserver.org>) und *Map-Server*. Mit dieser Lösung werden die üblichen webbasierte Abfragedienste (WMS, WFS und WCS) des Open Geospatial Consortium (OGC) unterstützt.

KLIWAS-Projekt 3.09

Bundesanstalt für
Gewässerkunde
Technische Universität
Berlin
HafenCity-Universität
Hamburg
Universität Bonn

Querschnittsaufgabe
Fernerkundung
Synoptische Betrachtung
fernerkundungsgestützter
Vegetationserfassung –
ihre Genauigkeit,
Unsicherheiten und
Grenzen

Datum 15.02.2013

Seite 11

3 Potenzialdiskussion der angewendeten Fernerkundungsverfahren

Durch die Anwendung verschiedener räumlicher, spektraler und zeitlicher Skalenniveaus können mithilfe der Ergebnisse Potenziale und Grenzen für zukünftige Anwendungen von Hyperspektralsensoren und multispektralen Satellitensensoren für den Anwendungsfall definiert werden.

Die Modellierung und Visualisierung von Unsicherheiten der erzeugten Datenprodukte soll diese Potenziale vervollständigen und deren Interpretierbarkeit anwendungsbezogen verbessern.

3.1 Potenzialdiskussion von flugzeuggestützten Hyperspektralsensoren

Flugzeuggestützte Hyperspektraldaten erwiesen sich als grundsätzlich gut geeignet, um zu einer Differenzierung von Vegetationstypen zu gelangen. Dabei konnten die Frühjahrsdaten für eine Detektion von Störstellen und die Sommerdaten für eine Detektion von floristisch definierten Vegetationstypen herangezogen werden. Einschränkungen bei der Auswertbarkeit ergaben sich vor allem aus Gründen, die außerhalb der Qualität des Bildmaterials lagen, namentlich aus Nichtstationarität in der Beziehung zwischen Zielmerkmalen und Reflexion: Vor allem das Schilf weist im Sommer und Herbst stark unterschiedliche Reflexionen auf. Dies ist zu einem großen Teil dadurch bedingt, dass vielerorts das Schilf des Vorjahres in unterschiedlicher Dichte zwischen dem neu aufgewachsenen Schilf steht. Eine solch hohe Heterogenität der Reflexion kann die Reflexion weiterer Arten, wie z. B. die des Rohr-Glanzgrases, überdecken. Zwischen den Gebieten sind ebenfalls deutliche Unterschiede im Zustand einzelner Arten festzustellen. Diese Unterschiede lassen die Anwendung zu einem besonders schwierigen Fall für die Vegetationsfernerkundung werden. Den hohen Anforderungen erwies sich die hyperspektrale Fernerkundung als in gewissen Grenzen gewachsen.

Interessanterweise konnte mit Hilfe von Klassifikation eher mit diesen Verhältnissen umgegangen werden als mit der Gradientenmethode, die nur begrenzt einer Situation Rechnung tragen kann, in der sich die Reflexion nicht gleichsinnig mit den Zielvariablen ändert. Daran ändert auch die Verwendung von *Isomap* nichts, die nur auf Nicht-Linearität in der Zielvariablen abzielt. Hier wäre noch nach Alternativen zu suchen.

Die Stärke hyperspektraler Fernerkundung liegt in der, im Vergleich zu multispektralen Sensoren, erheblich größeren Informationsdichte pro Pixel. Aufgrund der hohen spektralen Auflösung bringen Hyperspektraldaten feinste Details in der Reflexion zur Darstellung. Diese Details können ausschlaggebend sein, um bestimmte Zielgrößen (z. B. Vegetationstypen oder Pflanzenarten) zu unterscheiden. Die Nutzung von Hyperspektraldaten führte daher gegenüber simulierten Multispektraldaten, bei gleicher räumlicher Auflösung und gleichen Zielobjekten, zu belastbareren Ergebnissen. Auf Basis der Hyperspektraldaten konnte eine große Detailgenauigkeit bezüglich der Darstellung von Störstellen (Frühjahrsdaten) und der Artenzusammensetzung (Sommerdaten) erzielt werden. Für die simulierten Multispektraldaten war eine Unterscheidung der Störungstypen „Röhricht umgeknickt“ und „Treibsel“ nur bedingt möglich. Die groben Muster der Artenzusammensetzung des Sommers konnten mit den Multispektraldaten zur Darstellung gebracht werden. Jedoch waren hier deutlich mehr Fehlklassifikationen (sowohl auf Basis der Konfusionsmatrizen als auch im visuellen Vergleich) als bei den Hyperspektraldaten festzustellen. Zudem waren die Klassifikationen oft verwechselt und durch ein höheres Aufkommen an Splitterpolygonen gekennzeichnet.

Aufgrund der starken Variabilität der Bestände in Raum und Zeit erwies es sich als unerlässlich, alle Analysen auf Beobachtungen im Feld zu stützen. Es besteht kein Potenzial für eine Auswertung ohne Kalibrierung mit Felddaten. Jedoch sind die notwendigen Felderhebungen auf „punktuelle“ Aufnahmen beschränkt, so dass die Analyse gegenüber flächenhaften Erhebungen am Grund wesentlich beschleunigt wird. Gegenüber einer flächenhaften Kartierung am Grund wird zudem eine deutlich besser Reproduzierbarkeit und eine verlässlichere Darstellung von Übergangsbereichen erzielt.

Aufgrund der notwendig vorhandenen Unsicherheiten in der Modellierung (vgl. Kapitel 2.3) ist bei Ergebnissen, die auf einen unmittelbaren Handlungsbedarf hindeuten könnten, eine Kontrolle im Feld unerlässlich.

Anwendungspotenziale sind also belegt, wobei bei den zugrundeliegenden Daten Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert wurden. Dies betrifft v. a. die Aufnahmezeitpunkte im Tagesverlauf und die Anzahl der Flugstreifen im Verhältnis zur räumlichen Auflösung. Was den Tagesverlauf angeht, erwies es sich als wenig zielführend, zu große Kompromisse zu Gunsten optimaler Wasserstände einzugehen – Beleuchtungseffekte zu ungünstigen Tageszeiten können die Auswertbarkeit erheblich beeinträchtigen während sich der Wasserstand als weniger entscheidend für die Auswertung erwies, solange die Bestände nicht überflutet sind. Die Anzahl von zu mosaikierenden Bildstreifen sollte gering gehalten werden, um den Prozessierungsauf-

wand zu minimieren. Die dabei entstehende geringere räumliche Auflösung erwies sich als für die Modellqualität förderlich.

Der letztgenannte Punkt unterscheidet visuelle Luftbildinterpretationen von halbautomatischen, pixelbasierten Verfahren, bei denen die spektrale Konsistenz der Daten entscheidend ist. Größere Pixel verbessern im Anwendungsfall den Zusammenhang zwischen Zielvariablen und Reflexionssignal, da Heterogenität auf der Mikroskala aus dem Signal „herausgemittelt“ wird. Der bestimmende Einfluss solcher Heterogenitäten legt weitergehende Untersuchungen zur Auswertbarkeit von Texturen nahe.

Diese Überlegungen unterstreichen das Potenzial zukünftiger satellitengestützter Sensoren mit geringerer räumlicher aber hoher spektraler Auflösung, für die eine bessere Verfügbarkeit und geringere Beschaffungskosten erwartet werden.

3.2 Potenzialdiskussion von satellitengestützten Multispektralsensoren

RapidEye Satellitendaten erwiesen sich als grundsätzlich gut geeignet, um ein Langzeitmonitoring der gezeitenbeeinflussten Vorlandvegetation durchzuführen. Auf der Landnutzungsebene konnten die Klassen zuverlässig voneinander getrennt werden. Auch die Trennung der Watt-Vegetationsgrenze war in Aufnahmen, die bei Niedrigwasser entstanden sind, sicher möglich. Daten, die hingegen bei Hochwasser aufgenommen wurden, stellten sich als gänzlich unbrauchbar heraus. Durch die lichten Vegetationsbestände wurde das spektrale Signal der Vegetation durch die Reflexion vom Wasser so stark beeinflusst, dass eine sichere Trennung der Klassen nicht mehr möglich war.

Die Klassifikation der Biotoptypen konnte mit RapidEye-Daten ebenfalls erfolgreich durchgeführt werden. Da einige Klassen sehr ähnliche spektrale Eigenschaften haben (z. B. *Grünland* und *Hochstauden*) andererseits eine hohe spektrale Variabilität innerhalb einzelner Klassen in der Vorlandvegetation vorkommt, kann ein Monitoring nur auf der Basis multitemporaler Daten aus dem Frühjahr und dem Sommer durchgeführt werden. Zudem hat sich gezeigt, dass die Einbeziehung von Zusatzdaten in Form von einem Digitalen Gelände- und Landschaftsmodell sowie von Expertenwissen in Form von Nachbarschaftsbeziehungen die Klassifikationsgüte deutlich verbessert. Im Vergleich zu den rein spektralen Eigenschaften variieren diese Parameter innerhalb der Klassen wenig und erzeugen damit einen robusten Algorithmus, der auf andere Gebiete und Aufnahmezeitpunkte übertragbar ist.

Die kleinste zu erfassende Objektgröße, die sich mit RapidEye Daten erfassen lässt, liegt auflösungsbedingt bei ca. 200 m². Dies wird für ein großflächiges Monitoring entlang des gesamten Ästuars als ausreichend angesehen. Ein Vorteil, der sich aus der geringen Auflösung im Vergleich zu Luftbilddaufnahmen ergibt, ist ein reduziertes Rauschen der Daten innerhalb einer Klasse. Wird in räumlich sehr hochauflösenden Daten die hohe spektrale Variabilität der einzelnen Klassen in jedem Pixel mit aufgezeichnet, entsteht ein Speckle-Effekt, der bei den RapidEye Daten durch die geringere Auflösung nicht spürbar war. Dies ist bei einer automatischen Klassifikation unter Berücksichtigung der auflösungsbedingten Mindestflächengröße als klarer Vorteil anzusehen.

Die räumliche Abfolge von Störstellen kann ebenfalls mit RapidEye-Daten verlässlich in Frühjahrsdaten erfasst werden. *Treibsel* sind dabei am sichersten klassifizierbar. Je später der Aufnahmezeitpunkt in der Vegetationsperiode, desto ungenauer wird die Trennung der einzelnen Störungstypen. Bereits auf der Ebene der LULC-Klassen können zwischen zwei Jahren potenzielle Störstellen durch einen Wechsel innerhalb der Klasse *photosynthetisch wenig aktive Vegetation (pwaV)* hin zu den Klassen *Vegetation* oder *Gehölze* und vice versa sicher erfasst werden.

Entscheidend für die Güte aller Klassifikationsergebnisse war die Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger Referenzpunkte. Empfohlen werden hierzu mindestens 30 Test- und Trainingspunkt je Klasse, die keine räumlichen Autokorrelationen aufweisen, also verteilt im gesamten Untersuchungsgebiet vorliegen. Durch eingeschränkte Betretungsmöglichkeiten ist diese Forderung im Elbeästuar nur bedingt erfüllbar, jedoch zum derzeitigen Stand optimierbar.

Im Vergleich der drei angewandten Klassifikationsalgorithmen (*NN*, *SVM* und *CART*) hat sich herausgestellt, dass mit dem Verfahren *NN* die besten Ergebnisse erzielt werden konnten. Dies wird unter anderem darauf zurückgeführt, dass es beim *CART*-Ansatz im Gegensatz zum *NN*-Verfahren mehrere Zuordnungsregeln pro Klasse gibt. Somit ist der Algorithmus zwar leistungsfähiger, stößt aber bei sehr heterogenen Flächen, für die zudem nur eine geringe Anzahl Referenzdaten vorliegt, an seine Grenzen. *SVM* und *CART* lieferten ähnliche Ergebnisse.

Stellt man RapidEye-Satellitendaten sowie das Luftbild als Datengrundlage für ein Langzeitmonitoring der Tideelbe vergleichend nebeneinander, so ergeben sich für beide Systeme unterschiedliche Vor- und Nachteile. Aufgrund der höheren Auflösung zeigt das Luftbild eine viel höhere inhaltliche als auch räumliche Detailtiefe. Insbesondere gilt dies für die visuelle (stereoskopische) Auswertung, die in vielfältigen Anwendungen

zum Einsatz kommt und als etabliert und operationale Methode bezeichnet werden kann. Aber auch semi-automatisierte Verfahren zur Klassifikation digitaler höchstauflösender Luftbilddaten (z. B. Ground Sample Distance < 0,5 m) werden bereits flächenhaft für Monitoringzwecke eingesetzt (Schröder 2012).

Eine große Herausforderung für ein Langzeitmonitoring mit Fernerkundungsdaten der Tideelbe stellt die Datenbeschaffung dar. Die Berücksichtigung von Niedrigwasser und geeigneten Sonnenständen sowie Wolkenfreiheit schränken sowohl die Beschaffung von RapidEye als auch Luftbilddaten stark ein. Vorteil bei der Luftbildbefliegung ist hier der individuell steuerbare Aufnahmezeitpunkt (Tag, Sonnenstand, Wolkenbedeckung, Tide), welchen RapidEye durch die feste Überflugzeit nicht gewährt. Andererseits hat sich in dem Projekt gezeigt, dass durch die hohe Wiederholraten mit mindestens zwei brauchbaren Szenen pro Vegetationsperiode gerechnet werden kann. Betrachtet man besonders die Kosten der Datenbeschaffung sowie die Lieferzeiten so stellt sich das satellitengetragene System klar als vorteilhaft für ein Langzeitmonitoring heraus.

3.3 Potenzialdiskussion zur Analyse und Visualisierung von Unsicherheiten

Diverse Untersuchungen belegen, dass die Information über Art und Grad der Unsicherheit eine wertvolle Zusatzinformation darstellen und Analyse- und Entscheidungsprozesse unterstützen kann (AERTS et al. 2003; DEITRICK & EDSALL 2006; HARROWER 2004). Für die Anwendung der Vegetationsklassifikation liegen entsprechende empirische Befunde zwar noch nicht vor, diese können aber mit recht großer Sicherheit erwartet werden. Die Informationen darüber, in welchen (geographischen) Regionen die Bestimmung der Vegetation sicherer bzw. unsicherer ist, kann sowohl schon bereits bei der eigentlichen Klassifikation, als auch in weiterführenden Analysen genutzt werden. Unsichere Bereiche können gesondert behandelt werden und z. B. über Zusatzinformationen abgesichert bzw. genauer untersucht werden.

Schon im Laufe des Projektes wurde ersichtlich, dass durch die Nutzerbefragung und die Vorstellung der Projektidee eine Schärfung des Bewusstseins bzw. Steigerung der Akzeptanz für die Notwendigkeit der Kommunikation von Unsicherheiten erreicht wurde.

Die Übertragbarkeit des vorgestellten Arbeitsablaufes (Abfolge Modellierung – Visualisierung – WebGIS-Integration) auf andere Anwendungsfälle ist grundsätzlich gewährleistet. Große Teile laufen dank der entwickelten

Tools automatisiert ab, so dass der Aufwand für die Behandlung der Unsicherheiten im Vergleich zur eigentlichen Klassifikation als gering eingeschätzt wird. Diese Tools sind auf die im Projekt auftretenden Datenmengen zugeschnitten, eine Anwendung auf erheblich größere Datensätze ist sicherheitshalber noch zu testen.

Lediglich der Schritt der Modellierung bedingt einen höheren Arbeitsaufwand, da aufgrund unterschiedlicher Fragestellungen, Vegetationsklassen sowie örtlichen und zeitlichen Begebenheiten die quantitative bzw. qualitative Beschreibung der Objektunsicherheiten bzw. Grenzunschärfen für jede Anwendung neu vorgenommen werden muss. Hierzu gibt es keine Standard-Methodik, gleichwohl kann nun aber auf eine Reihe von Erfahrungswerten aus diesem Vorhaben zurückgegriffen werden. Insbesondere kann mit den im Projekt verwendeten Parametern der sehr weit gefasste Begriff der Unsicherheiten bereits exemplarisch instanziiert werden.

Offen ist noch, wie – aufbauend auf die hier beschriebene Modellierung und Visualisierung – die eigentliche Anwendung und Verarbeitung der Unsicherheiten in der weiterführenden Analyse durch die Nutzer erfolgt. Hier ist offensichtlich eine hybride Arbeitsweise nötig, die sowohl rechnerische als auch visuelle Arbeitsschritte beinhaltet. Basierend auf entsprechenden Beobachtungen und Befragungen von Nutzern sollten zukünftig Empfehlungen für Arbeitsabläufe entwickelt werden, um diese komplexen Analysen so effektiv und effizient wie möglich zu gestalten. Die in diesem Vorhaben gelegten Grundlagen zur Modellierung und Visualisierung stellen eine wertvolle Grundlage für entsprechende Studien zur Gebrauchstauglichkeit (*Usability*) dar. Diese konnten angesichts der knappen Ressourcen im Projektverlauf aber nicht mehr durchgeführt werden.

In diesem Kontext wurde bei der Anforderungsanalyse festgestellt, dass es hinsichtlich der möglichen Darstellungs- und Interaktionsvarianten wenig Unterschiede zwischen den Nutzergruppen (Naturschutz und Landnutzung, WSV sowie Wissenschaft) gibt. Lediglich bezüglich der Art der jeweils gewünschten Unsicherheitsinformationen gab es leichte Differenzen. Auch diese Aussagen müssten im Rahmen einer Studie zur Gebrauchstauglichkeit noch verifiziert werden.

4 Nutzen der Ergebnisse für KLIWAS 3.09 und darüber hinaus

Die Potenzialdiskussion (siehe Kap. 3) ermöglicht, durch das Aufzeigen von Stärken, Schwächen und Grenzen der einzelnen Verfahren, eine gezielte Nutzung der Ergebnisse und die Formulierung von Empfehlungen für die zukünftige Anwendung. Zunächst lassen sich die Ergebnisse der Teilprojekte der Querschnittsaufgabe Fernerkundung in das Projekt KLIWAS 3.09 „Ästuarvegetation und Vorlandschutz“ einbinden:

Die Daten und Erkenntnisse des Teilprojekts „Analyse von Störstellen, Röhricht- und Neophytenarten“ liefern einen Input für die „Untersuchungen zur Störungsökologie“. Hier erfolgen ein analytischer Vergleich zwischen den Ergebnissen der fernerkundlichen Störstellenanalyse und denen der Felduntersuchungen auf den Dauerflächen in Elbe- und Weserästuar sowie Untersuchungen zu potenziellen Störungsursachen.

Das Teilprojekt „Konzeption für ein Langzeitmonitoring der gezeitenbeeinflussten Vegetation mit hochauflösenden Satellitendaten“ (LM) zeigt, wie und in welcher Güte aus KLIWAS-Projekt 3.09 empfohlene Maßnahmen zur Adaption im Vorland evaluiert werden können bzw. welche Kriterien dafür notwendig sind.

Das Teilprojekt „Modellierung und Visualisierung von Unsicherheiten hinsichtlich der Projektergebnisse“, ist so konzipiert worden, dass das GIS-gestützte Visualisierungstool für Unsicherheiten, für alle Projektergebnisse genutzt werden kann. Insbesondere dient dies zur Visualisierung von Unsicherheiten der Fernerkundungsdaten im Projekt und zur Darstellung von Unsicherheiten, die in den entwickelten Habitatmodellen beinhaltet sein werden. Die visuelle räumliche Darstellung unterschiedlicher (Un)sicherheitsgrade verbessert die Kommunikation der Projektergebnisse und wird die Akzeptanz von abgeleiteten Handlungsempfehlungen erhöhen können.

Die Ergebnisse der Querschnittsaufgabe Fernerkundung fließen in die Handlungsempfehlungen zur angepassten Unterhaltung der Ästuar- und ihrer Vorländer ein. Denn sie zeigen, welche zukünftigen Möglichkeiten die Fernerkundung mit ihren spezifischen Vor- und Nachteilen besitzt, gezeitenbeeinflusste Vegetation anwendungsorientiert zu erfassen. Diese flächendeckende Erfassung ist notwendig, um systemweite Aussagen zu treffen.

Eine Anwendung der fernerkundungsgestützten Vegetationserfassung besteht darin, die Entwicklung von prioritären Lebensräumen (Auwälder, Vegetationsfreies Schlick-, Sand und Mischwatt) und Röhrichtbeständen insbesondere der Pionierzonen darzustellen und über Jahre die Veränderungen zu beobachten, um gegebenenfalls Maßnahmen zu ergreifen, nicht erwünschte Veränderungen zu stoppen bzw. zu lenken.

Neben der Nutzung der Ergebnisse für das KLIWAS-Projekt, hatte die Querschnittsaufgabe Fernerkundung zum Ziel, aktuelle Sensoren und Methoden für die WSV zu evaluieren und neue Verfahren zu entwickeln. Es wurde zum einen geprüft, ob sich dadurch die Vegetation an gezeitenbeeinflussten Bundeswasserstraßen mit einer qualitativ verbesserten Interpretationstiefe erfassen lässt. Zum anderen sollte begutachtet werden, ob diese Verfahren operationell einsetzbar sind (HEUNER & SCHRÖDER 2012, HEUNER et al. 2012).

Für die Anwendung ist folgende Quintessenz der Ergebnisse festzuhalten (HEUNER et al. 2012):

- Bei der Formulierung der Anforderungen an den Datenflug wird empfohlen, diese neu zu priorisieren; z. B. ist eine neue Balance zwischen optimierter Belichtung und optimierten Wasserstand zu entwickeln, um die Bildauswertung zu verbessern.
- Eine geeignete Erfassungsalternative zu herkömmlichen flugzeuggestützten Multispektralsensoren bieten, je nach Fragestellung, Sensoren mit höherer spektraler Auflösung jedoch geringerer räumlicher Auflösung bis zu 5 m Rastergröße. Hier muss berücksichtigt werden, dass die räumliche Auflösung nach unten begrenzt ist, insbesondere wenn zahlreiche, nur wenige 100 m breite Streifen von Ufervegetation erfasst werden sollen. Eine geometrische Auflösung von 6,5 m pro Pixel am Beispiel der RapidEye-Daten und der dadurch resultierenden minimalen Erfassungsgröße von 200 m² veranschaulicht die Grenzen. Andererseits ist die satellitengestützte Erfassung kosten- und zeiteffizienter, wenn diese auf Ebene der Haupteinheiten von Biotoptypen mit einem entsprechend realisierbaren Maßstab (ca. 1:10.000 – 1:25.000) für die jeweilige Fragestellung ausreicht.
- Ein Netz an terrestrischen Referenzflächen steigert die Effizienz der Datenauswertung sowohl für ein Langzeitmonitoring, wie auch für ein mittelfristiges Monitoring von Vegetationsänderungen. Bei präferentieller Flächenauswahl ist eine Anzahl von 30, bei zufallsbedingter Auswahl eine Anzahl von 40 pro Klasse zu empfehlen. Auf Grund der starken Änderung von Störungsflächen sollte hier die Auswahl pro definiertem Gebiet (z. B. Fluss-km bezogen) und Erfassung flexi-

bel gestaltet werden. Der Einsatz eines Spektrometers auf den Referenzflächen kann die zu erhebende Vegetationsinformation ergänzen. Dadurch könnte ebenfalls eine spektrale Bibliothek aufgebaut werden.

- Für zukünftige operationelle Anwendungen wird empfohlen, (Un)sicherheiten zu definieren und zu visualisieren. Denn es konnte gezeigt werden, dass mit der Dokumentation von Datenunsicherheiten eine Verbesserung der Datennutzbarkeit erreicht werden kann.

5 Ausblick

Um das getesteten Verfahren zur Durchführung eines Langzeitmonitorings auf Maßstab des Ästuarökosystems zunächst mit der Satellitenkonstellation RapidEye zu operationalisieren, bedarf es einer Ausweitung der Untersuchungsgebiete. Die Robustheit des Verfahrens bei der Übertragung auf andere Abschnitte des Elbeästuars und auf andere Ästuarare wäre zu prüfen.

Neben den Satellitendaten, deren geometrische und radiometrische Auflösung immer höher werden, gewinnen in der Forschung Daten aus unbemannten Bildflügen (aufgrund der hohen Flexibilität bei ihrer Generierung) an Bedeutung. In wieweit Drohnen in der Fernerkundung im operationellen Geschäft an Bundeswasserstraßen schon eingesetzt werden können, sollte zunächst eine Machbarkeitsstudie klären.

Die Definition, Erhebung und Kommunikation von Unsicherheiten birgt ein großes Potenzial für Veränderungsanalysen. Eine mögliche Vorgehensweise wäre es, Unsicherheiten zeitgleich zur Datenerhebung des zu erforschenden Gegenstandes bzw. Lebewesens zu dokumentieren, z. B. durch Einsatz eines Handhelds im Feld oder gezieltem Anlegen von Referenzplots auf vorher unsicheren Flächen. Für die Kommunikation von Unsicherheiten, deren Anwendung und Verarbeitung in weiterführenden Analysen durch die Nutzer ist der Nachweis der Verständlichkeit der gewählten Visualisierungsform im Vergleich zu anderen Optionen erforderlich. Hierzu wird aktuell an der HCU eine *Usability*-Studie durchgeführt. Der Nachweis der Übertragbarkeit des im Projekt entwickelten Werkzeugs zur Modellierung von Unsicherheiten auf andere Anwendungsfälle steht noch aus.

Die Fernerkundung mit ihren Sensoren und Verfahren unterliegt dem ständigen Wandel von Forschung und Technik. Deshalb ist es unabdingbar, erprobte Verfahren hinsichtlich des Stands der Wissenschaft sowie hinsichtlich ihrer Erkenntnisse zu aktualisieren und an künftig geeignete Sensoren anzupassen.

Literatur

- AETRS, J.C., CLARKE, K.C. & KEUPER, A.D. (2003): Testing Popular Visualization Techniques for Representing Model Uncertainty. *Cartography and Geographic Information Science*, 30 (3), 249-261. Verfügbar unter <http://www.ingentaconnect.com/content/cagis/cagis/2003/00000030/00000003/art00003>.
- BAHLS, A. & B. KLEINSCHMIT (2012): Konzeption für ein Langzeitmonitoring der Vorlandvegetation mit hochauflösenden Satelliten-Daten. Querschnittsaufgabe Fernerkundung. KLIWAS-Projekt 3.09. In: KLIWAS Schriftenreihe 13/2012, Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.). DOI: 10.5675/Kliwas_13.2012_Fernerkundung_2.
- DEITRISCK, S. & EDSALL, R. (2006): The Influence of Uncertainty Visualization on Decision Making: An Empirical Evaluation. In: RIEDL, A., KAINZ, W., ELMES, G. A. (Hrsg): *Progress in Spatial Data Handling* (S. 719–738). Springer Berlin Heidelberg.
- FAUDE, U. & S. SCHMIDTLEIN (2012): Analyse von Störstellen, Röhricht- und Neophytenarten. Querschnittsaufgabe Fernerkundung. KLIWAS-Projekt 3.09. In: KLIWAS Schriftenreihe 5/2012, Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.). DOI: 10.5675/KLIWAS_5.2012_Fernerkundung_1.
- FAUDE, U., HEUNER, M., BAUER, E.M., KLEINSCHMIT, B., SCHIEWE, J., SCHRÖDER, U. & S. SCHMIDTLEIN (2011): Detektion von Störstellen und Neophyten im Ästuarvorland der Elbe mittels neuartiger Fernerkundungsdaten und -verfahren. - In: TRAUB, K.P., KOHLHUS, J. & T. LÜLLWITZ (Hrsg): *Geoinformationen für die Küstenzone, Beiträge des 3. Hamburger Symposiums zur Küstenzone*, 8. Strategie-Workshop zur Nutzung der Fernerkundung im Bereich der BfG/ WSV, HCU Hamburg, 06.-08.10.2010, S.213-224. ISBN 3-9812883-5-3.
- HARROWER, M. (2004): Representing Uncertainty: Does it Help People Make Better Decisions? In UCGIS Workshop: Geospatial Visualization and Knowledge Discovery Workshop. Verfügbar unter <http://www.geography.wisc.edu/harrower/pdf/uncertainty.pdf>.
- HEUNER, M. & U. SCHRÖDER (2011): Neue Sensoren, neue Methoden - Neue Wege der Fernerkundung in der Vegetationskunde. In: BfG-Veranstaltungen 3/2011: Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung

von Geobasisdaten für die WSV, Kolloquium am 06./07. April 2011
in Koblenz, S.125-134. Koblenz. ISSN 1866 – 220X.

HEUNER, M., BAHLS, A., BAUER, E.M., KINKELDEY C., FAUDE, U.,
KLEINSCHMIT, B., SCHIEWE, J., SCHMIDTLEIN, S., SCHRÖDER, U.
(2013): Erfassung der Vorlandvegetation durch
Fernerkundungsmethoden unter Berücksichtigung von
Unsicherheiten. In: TRAUB, K.-P., KOHLUS, J., LÜLLWITZ, T. (Hrsg):
Geoinformationen für die Küstenzone, Band 4, Beiträge des 4.
Hamburger Symposiums zur Küstenzone und Beiträge des 9.
Strategie-Workshops zur Nutzung der Fernerkundung im Bereich der
BfG/Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, Points Verlag Norden (im
Druck).

KINKELDEY, C. & J. SCHIEWE (2013): Modellierung und Kommunikation
von Unsicherheiten. Querschnittsaufgabe Fernerkundung. KLIWAS-
Projekt 3.09. In: KLIWAS Schriftenreihe 14/2013, Bundesanstalt für
Gewässerkunde (Hrsg.). DOI:
10.5675/Kliwas_14.2013_Fernerkundung_3.

KINKELDEY, C. & SCHIEWE, J. (2012): Visualisierung thematischer
Unsicherheiten mit „Noise Annotation Lines“. In: Kartographische
Nachrichten 62 H. 5. S. 241–249.

SCHRÖDER, U. (2012): Untersuchungen zur Entwicklung verschiedener
Vegetationseinheiten im Rahmen der Beweissicherung zur
Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe im Bereich der
Delegationsstrecke (3. Folgebefliegung). BfG-Bericht. Koblenz,
Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.). BfG-1769.

Autorenverzeichnis

Dipl.-Ing. Anke Bahls
Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung
TU Berlin
Strasse des 17. Juni
10623 Berlin

Dr. Eva-Maria Bauer
Ref. Landschaftspflege, Vegetationskunde (U3)
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

Dipl.-Geogr. Ulrike Faude
Geographisches Institut
Universität Bonn
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn

Dipl.-Geoökol. Maike Heuner
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Ref. Ökologische Wirkungszusammenhänge (U2)
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

Dipl.-Ing. Christoph Kinkeldey
Labor Geoinformatik und Geovisualisierung
HafenCity Universität Hamburg
Hebebrandstraße 1
22297 Hamburg

Prof. Dr. Birgit Kleinschmit
Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung
TU Berlin
Strasse des 17. Juni
10623 Berlin

Prof. Dr. Sebastian Schmidlein
Geographisches Institut
Universität Bonn
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn

KLIWAS-Projekt 3.09

Bundesanstalt für
Gewässerkunde
HafenCity-Universität
Hamburg
Technische Universität
Berlin
Universität Bonn

Prof. Dr.-Ing. Jochen Schiewe
HafenCity University Hamburg
Labor für Geoinformatik und Geovisualisierung
Hebebrandstrasse 1
22297 Hamburg

Querschnittsaufgabe
Fernerkundung
Synoptische Betrachtung
fernerkundungsgestützter
Vegetationserfassung –
ihre Genauigkeit,
Unsicherheiten und
Grenzen

Prof. Dr. Sebastian Schmidlein
Geographisches Institut
Universität Bonn
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn

Datum 15.02.2013

Dipl.-Geogr. Uwe Schröder
Ref. Landschaftspflege, Vegetationskunde (U3)
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

Seite 28



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

www.baw.de
info@baw.de

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)

Bernhard-Nocht-Straße 78
20359 Hamburg

www.bsh.de
posteingang@bsh.de



**BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE**



Deutscher Wetterdienst (DWD)

Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach/Main

www.dwd.de
info@dwd.de

**Bundesanstalt für
Gewässerkunde (BfG)**

Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

www.bafg.de
posteingang@bafg.de



IMPRESSUM

Herausgeber:

Bundesanstalt für Gewässerkunde
KLIWAS Koordination
Am Mainzer Tor 1
Postfach 20 02 53
56002 Koblenz
Tel.: 0261 / 1306-0
Fax: 0261 / 1306-5302
E-Mail: kliwas@bafg.de
Internet: <http://www.kliwas.de>

Redaktion: Maike Heuner, Uwe Schröder
Bundesanstalt für Gewässerkunde

Autoren: Maike Heuner, Anke Bahls, Eva-Maria Bauer
Ulrike Faude, Christoph Kinkeldey,
Birgit Kleinschmit, Sebastian Schmidlein,
Jochen Schiewe, Uwe Schröder

Layout: Christin Hantsche und Tobias Knapp,
Bundesamt für Seeschifffahrt
und Hydrographie - Rostock

Druck: Bundesanstalt für Gewässerkunde

DOI: 10.5675/Kliwas_15.2013_Fernerkundung_4