

KLIWAS Schriftenreihe KLIWAS-14/2013

**Querschnittsaufgabe Fernerkundung
Modellierung und Visualisierung von
Unsicherheiten**

Koblenz, im Januar 2013





GEOPORTAL @ BfG

Benutzername: -

[Anmelden](#) | [Hilfe](#) | [Kontakt](#) | [sdi.suite](#) | [Nutzungsrecht & Copyright](#) | [Einstellungen](#) | [Neustart](#)

[Karteninhalt](#) [Legende](#)

[Navigation](#) [Messen](#) [Zeichnen](#) [Extras](#)



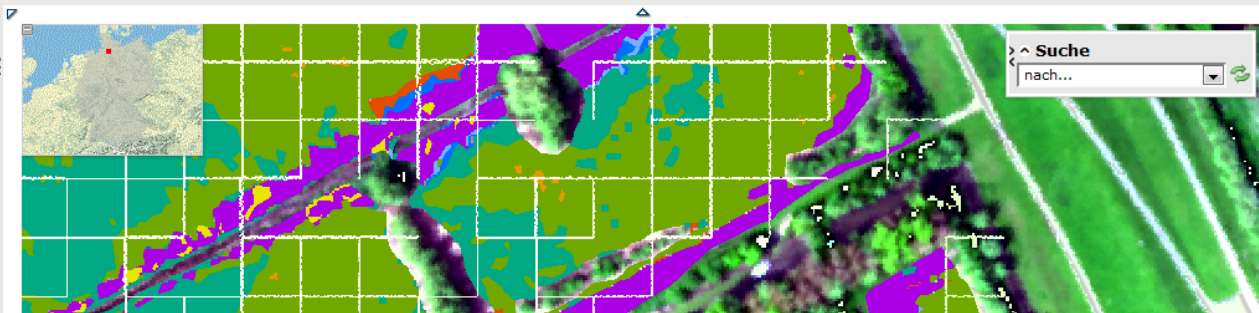
Werkzeug: Verschieben

- ☒ Hintergrundkarte
☒ Geobasisdaten
☐ Bundeswasserstr. (DBWK)
☐ Relief und Luftbilder
[Karte aktualisieren](#)

Themen:

kliwas_309(1)

- ☒ kliwas_309(1)
☒ Test_HCU
☒ Projekt309



KLIWAS Schriftenreihe KLIWAS-14/2013 KLIWAS-Projekt 3.09

Querschnittsaufgabe Fernerkundung
Abschlussbericht
Modellierung und Visualisierung von
Unsicherheiten

Autoren:
Jochen Schiewe
Christoph Kinkeldey

HCU HafenCity Universität
Hamburg

SAP-Nr.:
M39630305309

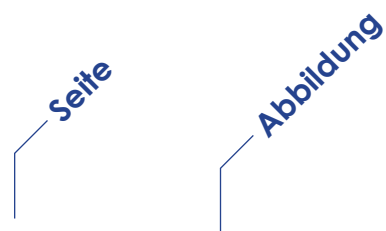
DOI:
10.5675/Kliwas_14.2013_Fernerkundung_3

Seite

Kapitel

Inhaltsverzeichnis

01		ZUSAMMENFASSUNG
03	1	EINLEITUNG
05	2	STAND DES WISSENS
05	2.1	UNSICHERHEITEN
07	2.2	MODELLIERUNG VON UNSICHERHEITEN
08	2.3	VISUALISIERUNG VON UNSICHERHEITEN
10	2.4	NUTZUNG VON UNSICHERHEITSINFORMATIONEN
13	3	FORSCHUNGSBEDARF
15	4	VORGEHENSWEISE
15	4.1	ANFORDERUNGSANALYSE
16	4.2	MODELLIERUNG DER UNSICHERHEITEN
22	4.3	VISUALISIERUNG DER UNSICHERHEITEN
26	4.4	INTEGRATION IM WEBPORTAL
27	5	ERGEBNISSE
27	5.1	ANFORDERUNGSANALYSE
33	5.2	MODELLIERUNG DER UNSICHERHEITEN
34	5.3	VISUALISIERUNG DER UNSICHERHEITEN
36	5.4	INTEGRATION IM WEBPORTAL
39	6	FAZIT
41		LITERATUR



Abbildungsverzeichnis

20	4-1	UNSICHERHEITEN IM GRENZVERLAUF - JE TEILGRENZE EIN UNSICHERHEITSWERT
23	4-2	KONSTRUKTION VON NOISE ANNOTATION LINES
23	4-3	NOISE ANNOTATION LINES
24	4-4	GHOST LINES ZUR DARSTELLUNG UNSICHERER GRENZEN
25	4-5	WORKFLOW FÜR DIE ERSTELLUNG DER ANNOTATION LINES ZUR VISUALISIERUNG DER OBJEKT-UNSICHERHEITEN
25	4-6	WORKFLOW FÜR DIE ERSTELLUNG DER GHOST LINES ZUR VISUALISIERUNG DER UNSICHERHEITEN IM GRENZVERLAUF
27	5-1	RÜCKLAUF DES FRAGEBOGENS
28	5-2	ERGEBNISSE FÜR FRAGE 1
29	5-3	ERGEBNISSE FÜR FRAGE 2
30	5-4	ERGEBNISSE FÜR FRAGE 3
31	5-5	ERGEBNISSE FÜR FRAGE 4
35	5-6	ANNOTATION LINES-DARSTELLUNG FÜR GEBIET ESCHSCHALLEN (SOMMER) ZUR DARSTELLUNG DER UNSICHERHEIT DER KLASSIFIKATION
35	5-7	ANNOTATION LINES-DARSTELLUNG FÜR GEBIET ESCHSCHALLEN (SOMMER), GITTERABSTAND: 40 M
37	5-8	ANZEIGE DER ANNOTATION LINES IM GEOPORTAL@BFG, MAßSTAB 1:8000
37	5-9	ANZEIGE DER ANNOTATION LINES IM GEOPORTAL@BFG, MAßSTAB 1:2000
38	5-10	ANZEIGE DER ANNOTATION LINES IM GEOPORTAL@BFG, MAßSTAB 1:500

Seite

Tabelle

Tabellenverzeichnis

18	4-1	EXPERTEN-INPUT UND DARAUS ABLEITBARE UNSICHERHEITEN
19	4-2	ORDINALE SKALEN FÜR DEN EXPERTEN-INPUT
20	4-3	ZUWEISUNG VON QUANTITATIVEN UNSICHERHEITSWERTEN ZUR ORDINALEN SKALA FÜR DIE ÄHNLICHKEIT
20	4-4	ZUWEISUNG VON QUANTITATIVEN UNSICHERHEITSWERTEN ZUR ORDINALEN SKALA FÜR DIE GRENZSCHÄRFE
21	4-5	ZUWEISUNG VON QUANTITATIVEN UNSICHERHEITSWERTEN ZUR ORDINALEN SKALA FÜR DIE NACHBARSCHAFTSWAHRSCHEINLICHKEIT
21	4-6	MÖGLICHE MAßE ZUR BESCHREIBUNG VON UNSICHERHEITEN IM ZUSAMMENHANG MIT DER BIOTOPTYPEN-KARTIERUNG IN PROJEKT 3.09
33	5-1	GITTERWEITEN DER ANNOTATION LINES FÜR VERSCHIEDENE MAßSTABS-BEREICHE

Anhang

Anhangsverzeichnis

I	FRAGEBOGEN FÜR DIE ANFORDERUNGSANALYSE
II-1	UNSICHERHEITSMATRIZEN: ÄHNLICHKEIT ZWISCHEN KLASSEN
II-2	UNSICHERHEITSMATRIZEN: GRENZSCHÄRFE
II-3	UNSICHERHEITSMATRIZEN: NACHBARSCHAFTEN

Zusammenfassung

Die Interpretation von Daten oder Datenprodukten der Fernerkundung ist zwangsläufig mit diversen Unsicherheiten behaftet, in aller Regel einhergehend mit einer Überschätzung ihrer Qualität. Folglich ergibt sich bei Veränderungsanalysen, die auf solchen Daten-(Produkten) aufsetzen, die Frage, ob erkannte Veränderungen der Realität entsprechen oder aber „nur“ auf unsichere oder die Interpretation oder Klassifikationen zurückzuführen sind.

Aus diesem Grund befasst sich dieses Teilprojekt in der Querschnittsaufgabe Fernerkundung mit der Modellierung, Visualisierung und Nutzung von Unsicherheiten. Im Idealfall ergibt sich aus diesem bisher vernachlässigten Forschungs- und Entwicklungsthema eine *Unsicherheitskette*, die nicht nur aussagekräftigere Veränderungsergebnisse, sondern auch Input für Sensitivitätsanalysen ermöglichen soll.

In diesem Bericht werden vielfältige Methoden zur Modellierung, Visualisierung und Nutzung aufgezeigt. Abgeleitet aus einer Anforderungsanalyse - basierend auf einer Befragung von potenziellen Nutzern - wird daraus eine für das Projekt angepasste Teilmenge ausgewählt und angewendet:

- Bei der Modellierung werden sowohl thematische Objektunsicherheiten als auch Unsicherheiten im Grenzverlauf berücksichtigt.
- Für die Visualisierung wurden die Darstellungsformen *Noise Annotation Lines* und *Ghost Lines* für die beiden genannten Unsicherheitsarten ausgewählt und implementiert.
- Zusammen mit anderen Geo- und Fachdaten wurden diese Darstellungen in das Webportal der BfG integriert.

1 Einleitung

Wenn raum-zeitliche bzw. statistische Daten als Grundlage für Veränderungsanalysen herangezogen werden und daraus abgeleitete Informationen als Planungs- oder Entscheidungsgrundlage dienen sollen, sind eine Evaluierung der Ergebnisse und die Dokumentation bzw. Kommunikation ihrer inhärenten Unsicherheiten unabdingbar. Diese Notwendigkeit wird beispielweise durch Sensitivitätsanalysen von PONTIUS & LIPPITT (2006) belegt: Hierbei stellten die Autoren fest, dass die Hälfte der erkannten “Veränderungen” aus zwei klassifizierten Bildern durch Klassifikationsfehler verursacht wurden, wobei die Gesamtklassifikationsgüte jeweils einen – für die Klassifikation von Fernerkundungsdaten durchaus typischen – Wert von 91 % aufwies.

Folglich bestand das **Ziel** dieses Teilprojektes im Aufbau einer *Unsicherheitskette*, die aus den Teilschritten der

- Modellierung (d.h. der qualitativen bzw. quantitativen Beschreibung),
- Kommunikation (primär durch Visualisierung) und
- tatsächlichen Nutzung (durch Anwender zu Zwecken, z. B. zur Entscheidungsunterstützung)

der Unsicherheitsinformationen besteht. Durch die Realisierung dieser Unsicherheitskette sollen nicht nur aussagekräftigere Veränderungsergebnisse, sondern auch Input für Sensitivitätsanalysen ermöglicht werden, um Rückschlüsse auf den Prozess der Datengewinnung und –verarbeitung gewinnen zu können.

2 Stand des Wissens

2.1 Unsicherheiten

Um räumliche Daten in einem rechnergestützten System verarbeiten zu können, ist eine formale Beschreibung der realen Welt durch ein abstraktes, stark anwendungsabhängiges Modell („konzeptionelles Schema“) notwendig. Die Übereinstimmung der erfassten oder bearbeiteten Geoobjekte (sowie ihrer Attribute und Relationen) mit diesem Modell – im Vergleich zu festgelegten bzw. vorausgesetzten Anforderungen – wird als *Geodatenqualität* bezeichnet. Zu ihrer Beschreibung gibt es eine Reihe von Normen und Standards (z. B. ISO 19113, 19115, 19138, 14825; DIN V ENV 12656 oder die Vorgaben des US-amerikanischen Federal Geographic Data Committee). Aufgrund der großen Vielfalt und starken Anwendungsabhängigkeit ist es nahezu unmöglich, eine allgemeingültige (Schnitt-)Menge von Qualitätskriterien zu definieren. Vor diesem Hintergrund können die folgenden Eigenschaften und Merkmale auch bestenfalls nur als eine gemeinsame Basis zur Beschreibung der Datenqualität angesehen werden:

- Geometrische oder Positions-Genauigkeit (i. d. R. im Vergleich zu gegebenen Schwellwerten mit horizontaler und vertikaler Komponente)
- Thematische oder Attribut-Genauigkeit (bezüglich der korrekten Zuordnung eines Objektes zu einer im Modell gegebenen Kategorie bzw. der Richtigkeit von Attributwerten)
- Vollständigkeit (bezüglich einer kompletten und eindeutigen Abbildung des Untersuchungsraumes)
- Konsistenz (bezüglich einer einheitlichen Anwendung der Regeln zur Zuordnung der Objekte, Attribute und Beziehungen)
- Herkunft (bezüglich der Historie der Daten, Angabe von Datenquellen, Autoren, Verarbeitungsschritten etc.)

Die Beschreibung der Datenqualität allein reicht aber nicht aus, um alle Diskrepanzen zwischen der realen Welt und den vorliegenden Daten darzustellen. Neben der Eignung und generalisierenden Wirkung des konzeptionellen Modells gibt es weitere, teilweise unbekannte Parameter wie z. B. nicht quantifizierbare Zweifel über ein Messkonzept oder nicht begründbare Inkonsistenzen in den Beobachtungen. Beispielsweise fehlt im Kontext der Auswertung von Fernerkundungsszenen das objektive Wissen

über bestimmte atmosphärische Aufnahmebedingungen, die eine Verfälschung der empfangenen Reflexionen verursachen können, oder über die tatsächliche Entwicklung der Landbedeckung, die sich zwischen zwei diskreten Aufnahmezeitpunkten ergeben hat.

Daher ist es angebracht, den übergeordneten Begriff der *Unsicherheiten* einzuführen, der die Gesamtheit aller Effekte inkludiert (HUNTER & GOODCHILD 1993; VAN DER WEL 2000). Eine exakte bzw. einheitliche Definition des Begriffes Unsicherheiten gibt es allerdings nicht. Dieser kann Teilaspekte wie Vagheit/Unklarheit (vagueness), Mehrdeutigkeit (ambiguity) und alles Unbestimmte umfassen (SHI 2010). Häufig wird auch der gegensätzliche Begriff der Sicherheit (certainty) verwendet, auch die Begriffe Qualität (quality) und Zuverlässigkeit (reliability) sind gebräuchlich, um verwandte Konzepte zu beschreiben. SHI (2008: 8) identifiziert vier Hauptgründe für das Vorhandensein von Unsicherheiten in räumlichen Daten und deren Analyse:

- die inhärente Unsicherheit in der realen Welt,
- die Beschränkung des menschlichen Wissens in der Erkenntnis der realen Welt,
- die Grenzen der Messtechnik zum Erfassen räumlicher Daten und
- die Möglichkeit des Verursachens und der Zunahme von Unsicherheiten in der räumlichen Datenverarbeitung und Analyse, basierend auf räumlichen Daten.

Das Thema Unsicherheiten steht seit mehr als 20 Jahren auch auf der Forschungsagenda im Bereich GIS und Fernerkundung. Als Startpunkt kann hierbei sicherlich eine Initiative des National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA; GOODCHILD & GOPAL 1989) angesehen werden. So beschreiben GAHEGAN & EHLERS (2000) eine Unsicherheitskette, die parallel zum Modellierungsprozess (von der Szenenerfassung über die Klassifizierung bis hin zur Objektbildung) verläuft. Da einzelne Fehlerquellen nicht bzw. nicht exakt quantifizierbar sind, werden häufig globale und empirische Verfahren zur Beschreibung der Unsicherheiten angewendet, wie die Übereinstimmung von klassifizierten Daten mit Referenzdaten und die Ableitung von Fehlermatrizen und einzelnen Kennwerten (vgl. z. B. CONGALTON 1991). Diverse Grundlagenarbeiten (z. B. CONGALTON & GREEN 2009; EHLERS & SHI 1996) machen zudem deutlich, dass es kein allgemeingültiges bzw. optimales Modell zur Quantifizierung von Unsicherheiten gibt bzw. geben kann. Vielmehr müssen bei der Auswahl bzw. Gestaltung eines Verfahrens zur Vermittlung von Unsicherheiten diverse Aspekte – wie zugrunde liegende

Daten, zu beschreibende Systeme bzw. Prozesse, Anforderungen, Fähigkeiten konkreter Nutzer etc. – berücksichtigt werden. Dabei können Typologien helfen, die mögliche Arten von Unsicherheiten klassifizieren. Als eine der am meisten angewandten Typologien kann die von MACEACHREN et al. (2005) bezeichnet werden, die mögliche Unsicherheiten in Geodaten in 27 Klassen unterteilt, mit den drei groben Kategorien der thematischen, geometrischen und temporalen Unsicherheiten.

Trotz der beschriebenen Entwicklungen ist insgesamt festzustellen, dass es hinsichtlich angepasster Modellierungen der Unsicherheiten sowie deren Kommunikation immer noch großen Entwicklungsbedarf gibt.

2.2 Modellierung von Unsicherheiten

Um Unsicherheiten beschreiben, quantifizieren und ihre Auswirkungen bewerten zu können, müssen geeignete Modelle entwickelt werden. Diese Modelle sind in der Regel nicht allgemeingültig und müssen für konkrete Anwendungen angepasst werden (CAERS 2011). In der Fernerkundung und in der Arbeit mit Geographischen Informationssystemen (GIS) spielen vor allem Modelle für thematische und geometrische Unsicherheiten sowie kombinierte Modelle, die beide Aspekte betrachten, eine wichtige Rolle.

Modelle für thematische Unsicherheiten betrachten die Attribute von Geoobjekten. Die thematische Unsicherheit kann als die Übereinstimmung eines Attributwerts zu seinem Wert in der realen Welt verstanden werden (SHI 2010). Zu den Faktoren, die den Grad der thematischen Unsicherheit bestimmen können, gehören zum Beispiel

- der Datentyp des Attributs (z. B. numerischer Wert, Zeichenkette, Datum),
- der Prozess der Wertzuweisung (z. B. durch Messung oder Simulation),
- die eingesetzten Methoden und Technologien (z. B. Messinstrumente oder Simulationsmodelle) und
- die Eigenschaften von Analyseverfahren, die auf die Attribute angewendet werden (z. B. Flächenversneidungen)

Thematische Unsicherheiten können Fehler und Ungenauigkeiten umfassen, aber auch Vagheit und Mehrdeutigkeit. Vagheit tritt beispielsweise bei der Definition von Landbedeckungsklassen auf. Diese kann fast niemals eindeutig sein, da Phänomene wie *Sorites Paradoxon* (z. B.: „Ab wie vielen Bäumen kann man von einem Waldstück sprechen?“) dies verhindern (FISHER 2000). Auch Mehrdeutigkeit ist mit fast jeder Klassifikation

- **Kombinierte Darstellung:** Alle Informationen werden in einer Karte visualisiert, z. B. in Form klassischer bi- oder multivariater Choroplethenkarten.

Da die gleichzeitige Visualisierung der Karteninhalte und der Unsicherheiten zu einer hohen Komplexität der Anzeige führen kann, werden verstärkt interaktive Visualisierungsformen eingesetzt, die über einfache Interaktionen (wie Überblenden oder Flickern im Fall einer sequenziellen Darstellung) hinausgehen. Dazu gehört die interaktive Filterung durch raumzeitliche Fragestellungen oder attributives Brushing durch Setzen von Unsicherheits-Schwellwerten (SCHIEWE 2010). Diese Werkzeuge können sehr mächtig, aufgrund ihrer Komplexität für den Nutzer u. U. aber auch schwer handhabbar sein.

Hinsichtlich der Eignung der oben vorgestellten drei Varianten gibt es erst wenige Untersuchungen (z. B. von GERHARZ et al. 2009). Folgende generelle Erkenntnisse können aber als gesichert angenommen werden:

- Separate Darstellungen erfordern zu viele Blickbewegungen (Saccaden), die u. a. einen exakten Vergleich von identischen Positionen oder Bereichen in verschiedenen Fenstern erschweren. Ansatzweise kann hier ein Linking zwischen den Fenstern mit einer entsprechenden Anzeige eines simultanen Cursors Abhilfe schaffen.
- Durch Verschmelzen der Geodaten und der Angabe zu ihren Unsicherheiten in einem Fenster (z. B. in bivariaten Karten) gehen oft Informationen, z. B. durch Überdeckungen oder Generalisierungen, verloren.
- Animierte Darstellungen haben den Nachteil, dass die einzelnen Repräsentationen nur kurz und vor allem nicht gleichzeitig dargestellt werden, sodass mentale Vergleiche mit gerade nicht sichtbaren Informationen hergestellt werden müssen (ANDRIENKO 2005). Die abwechselnde Darstellung von Daten und Unsicherheiten erschwert die Perzeption noch weiter.

Der Forschungsbedarf im Bereich der Unsicherheitsvisualisierung ist nach wie vor groß. Es gibt bis heute keine standardisierten Methoden, da kaum systematische Evaluierung stattfindet und die Anforderungen sehr individuell sind.

2.4 Nutzung von Unsicherheitsinformationen

Die Nutzung von Unsicherheitsinformationen besitzt großes Potential, Auswerteprozesse von Geodaten zu optimieren und auch Entscheidungen

Merkmalsskalierungen (nominal, ordinal, intervall, ratio) beschreibt. Einen ähnlichen Ansatz verfolgen SENARATNE et al. (2012), die neben der Art der Unsicherheit auch nach Art der Daten (kontinuierlich vs. kategorisch) und dem Datentyp (Vektor- vs. Rasterdaten) unterscheiden. Am gebräuchlichsten sind intrinsische Ansätze, welche eine bereits vorhandene visuelle Variable der Darstellung nutzen, um Unsicherheiten zu repräsentieren, z. B. die Variation der Farbsättigung in einer Choroplethen-Karte. Diese nutzen visuelle Variablen aus der Kartographie, zumeist die Bertinschen Variablen. Diese werden durch Variablen wie Unschärfe, Auflösung und Transparenz erweitert (MACEACHREN 1995), um intuitivere Darstellungen von Unsicherheiten zu erhalten. MACEACHREN (1992) propagiert darüber hinaus eine weitere Variable, den Symbol-Fokus, vergleichbar mit dem Fokus in der Fotografie.

Extrinsische Ansätze dahingegen visualisieren Unsicherheiten durch das Hinzufügen neuer Objekte zur Anzeige und sind somit generell unabhängiger von Karteninhalten als intrinsische Ansätze. Als typische, extrinsische Variablen sind Glyphen zu nennen. Als Glyph bezeichnet man ein einzelnes grafisches Objekt, das ein multivariates Objekt repräsentiert (WARE 2001: 188). Das können Symbole wie Kreuze oder Sterne sein, die durch ihre Größe, Form und Farbe eine bestimmte Kombination verschiedener Werte darstellen, aber beispielsweise auch Pfeile, die zusätzlich eine Richtung beschreiben. Neben der Nutzung von Glyphen ist ein weiterer, experimenteller Ansatz für eine extrinsische visuelle Variable erwähnenswert: Die Verwendung von Texturen, die in ihrer Regularität oder der Intensität verändert werden, um den Grad der Unsicherheit zu repräsentieren. Auch diese Art der Darstellung ermöglicht eine weitgehende visuelle Unabhängigkeit von anderen Karteninhalten, wie von INTERRANTE (2000) in einer Umsetzung für Karten gezeigt wurde. Die Metapher der Irregularität einer Textur erscheint als vielversprechender Ansatz für eine intuitive Kodierung von Unsicherheiten, ist jedoch bis heute kaum weiterentwickelt worden.

Hinsichtlich einer Darstellung von Unsicherheitsinformationen zusammen mit den zugrunde liegenden Geodaten unterscheidet MACEACHREN (1992) nach Anzahl bzw. Anordnung von Fenstern folgenden Varianten:

- Separate Darstellung: Zusätzlich zur eigentlichen Karte wird eine weitere angezeigt, welche die zugehörigen Unsicherheiten visualisiert (Map Pairs).
- Sequenzielle Darstellung: Umschalten zwischen Karten- und Unsicherheitsdarstellung durch Animation oder durch Interaktion durch den Nutzer (Überblenden, Flickern).

- **Kombinierte Darstellung:** Alle Informationen werden in einer Karte visualisiert, z. B. in Form klassischer bi- oder multivariaten Choroplethenkarten.

Da die gleichzeitige Visualisierung der Karteninhalte und der Unsicherheiten zu einer hohen Komplexität der Anzeige führen kann, werden verstärkt interaktive Visualisierungsformen eingesetzt, die über einfache Interaktionen (wie Überblenden oder Flickern im Fall einer sequenziellen Darstellung) hinausgehen. Dazu gehört die interaktive Filterung durch raumzeitliche Fragestellungen oder attributives Brushing durch Setzen von Unsicherheits-Schwellwerten (SCHIEWE 2010). Diese Werkzeuge können sehr mächtig, aufgrund ihrer Komplexität für den Nutzer u. U. aber auch schwer handhabbar sein.

Hinsichtlich der Eignung der oben vorgestellten drei Varianten gibt es erst wenige Untersuchungen (z. B. von GERHARZ et al. 2009). Folgende generelle Erkenntnisse können aber als gesichert angenommen werden:

- Separate Darstellungen erfordern zu viele Blickbewegungen (Saccaden), die u. a. einen exakten Vergleich von identischen Positionen oder Bereichen in verschiedenen Fenstern erschweren. Ansatzweise kann hier ein Linking zwischen den Fenstern mit einer entsprechenden Anzeige eines simultanen Cursors Abhilfe schaffen.
- Durch Verschmelzen der Geodaten und der Angabe zu ihren Unsicherheiten in einem Fenster (z. B. in bivariaten Karten) gehen oft Informationen, z. B. durch Überdeckungen oder Generalisierungen, verloren.
- Animierte Darstellungen haben den Nachteil, dass die einzelnen Repräsentationen nur kurz und vor allem nicht gleichzeitig dargestellt werden, sodass mentale Vergleiche mit gerade nicht sichtbaren Informationen hergestellt werden müssen (ANDRIENKO 2005). Die abwechselnde Darstellung von Daten und Unsicherheiten erschwert die Perzeption noch weiter.

Der Forschungsbedarf im Bereich der Unsicherheitsvisualisierung ist nach wie vor groß. Es gibt bis heute keine standardisierten Methoden, da kaum systematische Evaluierung stattfindet und die Anforderungen sehr individuell sind.

2.4 Nutzung von Unsicherheitsinformationen

Die Nutzung von Unsicherheitsinformationen besitzt großes Potential, Auswerteprozesse von Geodaten zu optimieren und auch Entscheidungen

auf Grundlage dieser Daten zu verbessern. Einige Studien haben bereits Indizien dafür geliefert, dass Entscheidungen durch Kommunikation von Unsicherheiten sicherer werden können (EVANS 1997; LEITNER & BUTTENFIELD 2000; DEITRICK & EDSALL 2006). Dennoch ist der Einsatz in der Praxis bisher äußerst selten. Ein Grund dafür ist die fehlende systematische Evaluation bestehender und neuer Methoden.

Für eine verbesserte und nachhaltige Entscheidungsunterstützung besteht weiterhin großer Bedarf, die Nutzbarkeit voranzutreiben. Dazu gehört nicht nur, weitere Methoden zur Unsicherheitsvisualisierung zu entwickeln, sondern vor allem diese systematisch zu evaluieren und zu standardisieren, damit der Einsatz in der Praxis möglich ist.

3 Forschungsbedarf

Der Einsatz von Unsicherheitsinformation in der Praxis der Fernerkundung und GIS ist heutzutage noch selten (siehe Kapitel 2). Es besteht sowohl im Bereich der Modellierung, als auch der Visualisierung von Unsicherheiten großer Forschungsbedarf, um eine praktische Verwendung möglich zu machen. Die Umsetzung des Modells und der Visualisierung im Rahmen des KLIWAS-Projekts 3.09 ist als Fallstudie zu sehen, die zum einen dabei helfen soll, Fragen zu den genannten Bereichen zu beantworten, aber es zum anderen auch ermöglichen soll, neue Forschungsfragen zu entwickeln, die sich bei rein theoretischer Behandlung der Thematik nicht ergeben.

Wie in Kapitel 2 dargestellt, musste die Gestaltung der Unsicherheitskette nutzer- und aufgabenorientiert erfolgen. Aus diesem Grund war zunächst eine Untersuchung nötig, welche Ansprüche und Wünsche die zukünftigen Nutzer des KLIWAS-Webportals haben. Auf Grundlage der Ergebnisse konnte dann die Modellierung und die Visualisierungskonzept erstellt und umgesetzt werden. Daher ergaben sich folgende Schritte:

- (1) Anforderungsanalyse: Empirische Untersuchung der Nutzereigenschaften und –wünsche;
- (2) Modellierung der Unsicherheiten: Zusammenstellung und Strukturierung der verfügbaren Unsicherheitsinformationen sowie Bewertung der Übertragbarkeit auf künftige Vorhaben;
- (3) Visualisierung der Unsicherheiten: Entwurf, Implementierung und Evaluation einer geeigneten Visualisierungsmethode in Abhängigkeit der darzustellenden Informationen, dem Nutzungskontext (Integration in Web-Portal) sowie der Nutzereigenschaften.

Diese Arbeiten setzen auf die Auswertungen von Fernerkundungs- und feldbasierten Daten auf, die von den Partnern im KLIWAS-Projekt 3.09 (Querschnittsaufgabe Fernerkundung) der Universität Bonn (FAUDE & SCHMITDLEIN 2012) und der TU Berlin (BAHLS & KLEINSCHMIT 2012) - erzeugt worden sind.

4 Vorgehensweise

In einem ersten Schritt sollte eine Anforderungsanalyse klären, welche Unsicherheitsinformationen für verschiedene Nutzergruppen relevant sind und wie sie tatsächlich genutzt werden bzw. werden könnten. Auf Basis der Ergebnisse der Anforderungsanalyse wurde ein Modell für die vorhandenen und auch quantifizierbaren Unsicherheiten im Zusammenhang mit Vegetationsdaten, die im Rahmen des KLIWAS 3.09-Projektes auf Grundlage automatisierte Analysen von Fernerkundungsdaten generiert worden sind, entwickelt. Die Erstellung und Umsetzung einer auf diese Anwendung angepassten Visualisierungsmethode sind im dritten Schritt geschehen.

4.1 Anforderungsanalyse

Das Ziel der Anforderungsanalyse war es, die Anforderungen und Wünsche der Nutzer eines Webportals, mittels dessen die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen des Projektes KLIWAS 3.09 präsentiert werden sollen, zu ermitteln. Die hauptsächlichen Nutzer der im Projekt erzeugten Daten sind Personen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV). Darüber hinaus wurden vier weitere Nutzergruppen seitens des Projektpartners BfG identifiziert:

- Naturschutz und Landnutzung (6 Personen)
- Schifffahrt (8 Personen)
- Wissenschaft (12 Personen)
- Tourismus (4 Personen)

Es wurde ein Fragebogen entwickelt, der für alle Nutzergruppen identisch war, um die Ergebnisse direkt vergleichen zu können. Der Fragebogen (siehe Anhang I) enthielt die folgenden Abschnitte:

(1) Einleitung

Erklärung über den Zweck des Fragebogens im KLIWAS-Projekt und eine Darstellung, wie Unsicherheiten in diesem Zusammenhang definiert sind. Außerdem wurde die Kontaktdaten für das Rücksenden des Fragebogens und eventuelle Rückfragen angegeben.

(2) Karteninhalte

Die Relevanz verschiedener Karteninhalte für die Arbeit des Nutzers sollte eingeschätzt werden. Neben einer vorgegebenen Liste von Inhalten konnten eigene hinzugefügt werden.

(3) Unsicherheiten

Den Themenbereich der Unsicherheiten betreffend wurden zwei Fragen gestellt: Nach der Relevanz für die Arbeit des Nutzers und nach dem möglichen Zweck der Unsicherheitsinformation für die Arbeit. Auch hier wurden Antwortmöglichkeiten vorgegeben, mit der Option, eigene hinzuzufügen.

(4) Interaktion

Diese Fragen zielten auf die Interaktionsmöglichkeiten der Web-GIS-Anwendung ab. Die Relevanz verschiedener Karten-Funktionen für die Arbeit des Nutzers wurde abgefragt (Verschieben, Zoomen etc.). Auch hier konnten neben den vorgegebenen Karten-Funktionen weitere hinzugefügt werden.

(5) Generelle Nutzung und Ziele

Hier konnten die Teilnehmer sich zur Nutzung des Web-GIS äußern, es wurde danach gefragt, was sie sich von der Nutzung versprechen und welche Fragestellungen beantwortet werden könnten. Die Antwort konnte frei formuliert werden.

(6) Anmerkungen

Im letzten Teil wurde nach Wünschen oder Ideen hinsichtlich des Web-GIS gefragt und nach Kritik zum Fragebogen. Beide Fragen, die ausdrücklich als optional gekennzeichnet wurden, konnten frei beantwortet werden.

Der fünfseitige Fragebogen konnte innerhalb von 10 bis 15 Minuten ausgefüllt werden, was in Pretests mit Kollegen an der HCU bestätigt wurde. Das Dokument wurde mit der Software Adobe LifeCycle Designer ES[®] erstellt und als PDF-Datei exportiert. In digitaler Form konnte dieses direkt per E-Mail an die einzelnen Teilnehmer verschickt werden. Durch die weite Verbreitung des PDF-Formats wurde sichergestellt, dass es keine Probleme beim Anzeigen des Dokuments geben würde. Außerdem konnte der Fragebogen direkt am Bildschirm ausgefüllt und per E-Mail zurückgeschickt werden, was den Aufwand für die Teilnehmer gering hielt.

Der Fragebogen wurde an alle seitens der BfG vorgeschlagenen Nutzer verschickt und Rückfragen direkt beantwortet. Drei Wochen später wurden die Teilnehmer, von denen noch keine Antwort erfolgt war, erneut angeschrieben und eventuelle Rückfragen oder Hindernisse geklärt.

4.2 Modellierung der Unsicherheiten

Bezüglich der Modellierung der Unsicherheiten wurde ein a posteriori, summarischer Ansatz verfolgt, weil nicht für alle Detailschritte der

Datenerfassung und –auswertung spezifische Unsicherheitsinformationen vorlagen. Das Vorgehen war dabei wie folgt:

Zunächst wurde untersucht, welche Arten von Unsicherheiten im Fall der Vegetationskartierungen auftreten können und mit welchen Maßen diese ausgedrückt werden können, eine Übersicht wird in Tabelle 4-6 gegeben. Unter ‚Maß‘ verstehen wir eine Größe, die den Grad der jeweiligen Unsicherheit ausdrückt:

- Ähnlichkeitsmaß (Unsicherheiten durch die spektrale Ähnlichkeit zweier Klassen): Wenn zwei Vegetationstypen spektral ähnlich sind und damit durch Mittel der Fernerkundung schwer zu unterscheiden sind, erhöht das die Unsicherheit bei der Kartierung.
- Maß für die Grenzscharfe (Unsicherheiten durch unscharfe Grenzen zwischen den Objekten zweier Klassen): Fließende Grenzen zwischen manchen Vegetationsklassen erhöhen die Unsicherheit der Grenzziehung.
- Nachbarschafts-Maß (Unsicherheiten durch seltene Nachbarschaft zweier Klassen): Kommen zwei Vegetationstypen im Allgemeinen sehr selten gemeinsam vor, erhöht das die Unsicherheit, wenn das in der Kartierung der Fall ist.
- Maß für die zeitliche Variabilität (Unsicherheiten durch hohe zeitliche Variabilität): Vegetationstypen, deren Erscheinung sich über die Zeit stark ändert (z. B. durch phänologische Prozesse), weisen eine höhere Unsicherheit bei der Klassifikation auf.
- Maß für die geometrische Variabilität (Unsicherheiten durch hohe geometrische Variabilität): Vegetationstypen, deren Vorkommen in Form und Fläche stark variiert, weisen eine höhere Unsicherheit bei der Klassifikation auf.

In der Übersicht in Tabelle 4-1 wird außerdem unterschieden, ob sich mit dem jeweiligen Maß thematische und / oder geometrische Unsicherheiten beschreiben lassen und ob ein Unsicherheitswert auf Klassenebene oder für jedes einzelne Objekt einer Klasse individuell gilt.

Die endgültige Modellierung wurde darauf ausgerichtet, welche Arten von Unsicherheiten überhaupt zu beschreiben waren, d. h., für welche Arten konkrete Werte auf einer quantitativen oder qualitativen Skala ermittelt werden konnten. Es stellte sich heraus, dass hinsichtlich der Arbeitsabläufe bei der Biotop-Kartierung verwertbare quantitative Informationen ausschließlich aus der Klassifikation gewonnen werden konnten. Aus diesem Grund wurde verstärkt qualitatives Expertenwissen für die Modellierung der Unsicherheiten herangezogen. Zunächst ist die in

Tabelle 4-1 enthaltene Übersicht erstellt worden, die fünf Arten von Expertenwissen enthält, jeweils mit den zugehörigen Arten von Unsicherheiten, die daraus abgeleitet werden könnten. Anhand dieser Übersicht wurde nun entschieden, für welche dieser Aspekte Expertenwissen tatsächlich qualitativ formuliert und in quantitative Unsicherheitsinformation überführt werden konnte. Dies ist in Absprache mit den Projektteilnehmern von der TU Berlin, der Universität Bonn und der BfG erfolgt. Es zeigte sich, dass Input zur Ähnlichkeit der Klassen, der Grenzscharfe sowie der Nachbarschafts-Wahrscheinlichkeit gegeben werden konnte, die beiden letzten Arten jedoch nicht in verlässlicher Weise. Die Informationen zu den drei Aspekten wurden jeweils in Form einer Klassenmatrix erhoben, das bedeutet, für jedes Paar von Klassen, die in der Kartierung vorkommen, wurde ein Wert erhoben (siehe Kapitel 5.2). Für die Ähnlichkeiten kam eine fünfstufige, ordinale Skala zum Einsatz. Diese wurde von LOWRY et al. (2008) adaptiert, die diese in ihrem Framework für die Quantifizierung von Unsicherheiten im Kontext der Ökologie vorgeschlagen haben. Daran angelehnt wurde eine fünfstufige Skala für die Nachbarschaftswahrscheinlichkeit erstellt. Für die Grenzscharfe wurde eine dreistufige Einteilung gewählt, da eine Einteilung in mehr als drei Stufen in Absprache mit den Herstellern der Kartierungen als nicht sinnvoll erschien (Tabelle 4-2).

Tabelle 4-1: Experten-Input und daraus ableitbare Unsicherheiten

Experten-Input	Geometrische Unsicherheiten	Thematische Unsicherheit
Ähnlichkeit der Klassen	Lage-Unsicherheit der Objektgrenzen durch große Ähnlichkeit benachbarter Objekte	Unsicherheit in der Klassenzuweisung durch große Ähnlichkeit der Klassendefinition
Grenzscharfe zwischen Klassenpaaren	Lage-Unsicherheit der Objektgrenzen wegen unscharfer Grenzen	
Nachbarschafts-Wahrscheinlichkeit		Unsicherheit in der Klassenzuweisung der benachbarten Objekte wegen seltener Konstellationen
Zeitliche Variabilität	Unsicherheit durch zeitliche Änderung der Gestalt	Unsicherheit in der Klassenzuweisung durch zeitliche Änderungen, die durch die Klassendefinition nicht ausreichend erfasst werden.
Geometrische Variabilität	Unsicherheit in Lage und Gestalt der Objektgrenzen durch unterschiedliche geometrische Ausprägung	Unsicherheit in der Klassenzuweisung durch unterschiedliche geometrische Ausprägung

Tabelle 4-2: Ordinale Skalen für den Experten-Input

Ähnlichkeit	Grenzscharfe	Nachbarschaften
absolut unähnlich	sehr unscharfe Grenze	sehr häufig (sehr wahrscheinlich)
teilweise ähnlich		häufig (wahrscheinlich)
ähnlich	unscharfe Grenze	indifferent
sehr ähnlich		selten (unwahrscheinlich)
(nahezu) identisch	scharfe Grenze	sehr selten / nie (sehr unwahrscheinlich)

Die Modellierung wurde in zwei Aspekte untergliedert, zum einen hinsichtlich der thematischen Unsicherheiten je Objekt, zum anderen bezüglich der Unsicherheiten im Grenzverlauf zwischen den Objekten der klassifizierten Vegetationseinheiten.

Hinsichtlich der thematischen *Objektunsicherheiten* wurde berücksichtigt, dass diese nicht pro Klasse, sondern für jedes einzelne Objekt auftreten und damit einen individuellen Wert besitzen. Hierzu wurden die Werte aus den sogenannten „Rule Images“ aus der Klassifikation der ASIA Eagle-Daten mit dem Random-Forest-Klassifikator (Universität Bonn) sowie der Klassenzugehörigkeiten aus der Klassifikation der RapidEye-Daten mit einem Maximum-Likelihood-Klassifikator (TU Berlin) herangezogen. Beide beschreiben die Klassifikationsgüte zwischen 0.0 und 1.0, d. h., wenn ein Objekt den Wert 1.0 besitzt, wurde seine Klasse mit hundertprozentiger Sicherheit bestimmt, bei 0.0 mit maximaler Unsicherheit. Der Unsicherheitswert wurde direkt aus der Klassifikationsgüte errechnet werden, das Ergebnis war pro Objekt ein Unsicherheitswert zwischen 0 % und 100 % (Formel 1).

$$Unsicherheit(Object_i) = 100\% - 100 * Klassifikationsgüte(Object_i) \quad (1)$$

Dieses Maß repräsentiert folglich die Unsicherheiten, die beim Schritt der Klassifikation, d. h., der Zuweisung einer Klasse zu einer bestimmten Fläche, entstehen.

Zum anderen wurden die *Unsicherheiten im Grenzverlauf* betrachtet, die je Teilgrenze eines Objekts variieren können (siehe Abb. 4-1). Dabei wurden die Grenzen der klassifizierten Daten entsprechend ihrer Nachbarschaften zerlegt und je nach Klassenkombination an jede Teilgrenze die entsprechenden Unsicherheitswerte angefügt. Diese Werte entstammen den

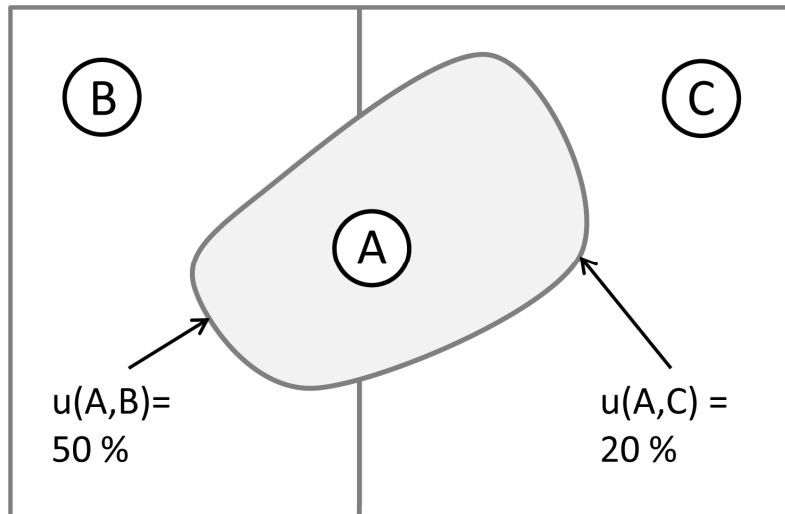


Abbildung 4-1: Unsicherheiten im Grenzverlauf - je Teilgrenze ein Unsicherheitswert

drei Unsicherheitsmaßen Ähnlichkeit, Grenzscharfe, Nachbarschaft (siehe Tabelle 4-2), die aus dem Experten-Input ermittelt wurden (siehe Tabelle 4-1). Die Quantifizierung der Unsicherheit je Teilgrenze erfolgte, indem die Ordinalskalen auf das Intervall zwischen 0 und 1 abgebildet werden.

Tabelle 4-3: Zuweisung von quantitativen Unsicherheitswerten zur ordinalen Skala für die Ähnlichkeit

Quantitativer Unsicherheitswert	Ordinale Skala
0,00	
	absolut unähnlich
0,25	teilweise ähnlich
0,50	ähnlich
0,75	sehr ähnlich
	(nahezu) identisch
1,00	

Tabelle 4-4: Zuweisung von quantitativen Unsicherheitswerten zur ordinalen Skala für die Grenzscharfe

Quantitativer Unsicherheitswert	Ordinale Skala
0,00	
	sehr unscharfe Grenze
0,50	unscharfe Grenze
	scharfe Grenze
1,00	

Tabelle 4-5: Zuweisung von quantitativen Unsicherheitswerten zur ordinalen Skala für die Nachbarschaftswahrscheinlichkeit

Quantitativer Unsicherheitswert	Ordinale Skala
0,00	
	sehr häufig (sehr wahrscheinlich)
0,25	häufig (wahrscheinlich)
0,50	indifferent
0,75	selten (unwahrscheinlich)
	sehr selten / nie (sehr unwahrscheinlich)
1,00	

KLIWAS-Projekt 3.09

HafenCity Universität
Hamburg

Querschnittsaufgabe
Fernerkundung

Modellierung und
Visualisierung von
Unsicherheiten

Datum: 15.01.2013

Seite 21

Tabelle 4-6: Mögliche Maße zur Beschreibung von Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Biotoptypen-Kartierung in Projekt 3.09

Maß	Unsicherheit bezogen auf	Ausprägung	Anmerkung
Ähnlichkeitsmaß	Thematik	klassen-spezifisch	Paarweise Unsicherheit zwischen den Klassen, das heißt der Wert des Maßes ist für jedes Objekt einer Klasse gleich.
	Geometrie	objekt-spezifisch	Unsicherheitsmaß ist abhängig von den jeweiligen Nachbarobjekten. Je ähnlicher ein Objekt zu seinen Nachbarobjekten ist, desto höher ist die Unsicherheit für die Grenze.
Maß für die Grenzscharfe	Geometrie	objekt-spezifisch	Unsicherheitsmaß ist abhängig von den jeweiligen Nachbarobjekten. Je geringer die Grenzscharfe, desto höher die Unsicherheit für die Grenze.
Nachbarschafts-Maß	Thematik	objekt-spezifisch	Unsicherheitsmaß ist abhängig von den jeweiligen Nachbarobjekten. Je unwahrscheinlicher die Nachbarschaft zu den angrenzenden Objekten, desto höher die Unsicherheit für die Klassenzuweisung des Objekts.
Maß für die zeitliche Variabilität	Thematik	klassen-spezifisch	Unsicherheitsmaß pro Klasse. Je höher die zeitliche Variabilität der Klasse, desto höher die Unsicherheit für die Klassenzuweisung.
	Geometrie	klassen-spezifisch	Unsicherheitsmaß pro Klasse. Je höher die zeitliche Variabilität der Klasse, desto höher die Unsicherheit für die Grenzen (aller Objekte der Klasse).
Maß für die geometrische Variabilität	Thematik	klassen-spezifisch	Unsicherheitsmaß pro Klasse. Je höher die geometrische Variabilität der Klasse, desto höher die Unsicherheit für die Klassenzuweisung.
	Geometrie	klassen-spezifisch	Unsicherheitsmaß pro Klasse. Je höher die geometrische Variabilität der Klasse, desto höher die Unsicherheit für die Grenzen (aller Objekte der Klasse).

Die angesprochene Komplexität sowie heterogene Korrelationen zwischen diesen Maßen erlaubten es nicht, eine aussagekräftige, zusammenfassende Kenngröße zu ermitteln. Stattdessen erfolgt die Beschreibung der Unsicherheiten getrennt nach den oben beschriebenen Parametern Ähnlichkeit, Grenzscharfe und Nachbarschaftswahrscheinlichkeit.

4.3 Visualisierung der Unsicherheiten

Im Fall der Vegetationskarten sollte die Kommunikation der Unsicherheitsformationen an den Nutzer räumlich differenziert erfolgen. Deshalb bot sich eine kartographische **Visualisierung** an, in der die Unsicherheitsinformationen als eine weitere Variable in einer thematischen Karte aufgefasst werden können. Da das Phänomen über die gesamte Fläche auftritt, stellt sich die Frage, ob die Darstellung in getrennten Karten (z. B. in zwei Fenstern, wodurch allerdings unerwünschte Blicksprünge auftreten) oder integriert in einer Karte (mit unerwünschten Überdeckungen) erfolgen soll (siehe Kapitel 2.3). Nach dem Test verschiedener Varianten und in Absprache mit den Kooperationspartnern wurde beschlossen, eine integrierte Lösung anzustreben (auch aus Gründen der einfacheren Integration in das BfG-Geoportal).

Für die thematischen **Objektunsicherheiten** wurde eine integrierte Visualisierungsmethode gesucht. Wegen der geringeren Überdeckung war es zweckmäßig, einen extrinsischen Ansatz zu wählen, der weitere geometrische Objekte zur Kartenansicht hinzufügt, um Unsicherheiten darzustellen (siehe Kapitel 2.3). Schließlich wurde die Methode der *Noise Annotation Lines* gewählt, da sie eine intuitive Metapher für Unsicherheiten, das Rauschen, verwendet und geringe Überdeckung der Karteninhalte garantiert. Diese Methode beruht auf einem regulären Gitter, das über die Kartendarstellung gelegt wird. An jedem Schnittpunkt des Gitters wird der Unsicherheitswert bestimmt und je nach Wert die Gitterlinien im umliegenden Bereich als mehr oder weniger breites Rauschband dargestellt. Dadurch ergibt sich um jeden Punkt eine Art „Rausch-Kreuz“, das die Unsicherheiten an dieser Stelle repräsentiert (Abbildung 4-2). Diese abstrakte Gitter-Darstellung weist eine recht geringe Überdeckung (und damit Verdeckung) anderer Inhalte auf und kann auf verschiedene Kartenmaßstäbe durch Wahl der Gitterweite angepasst werden (Abbildung 4-3). Eine ausführliche Beschreibung zur Generierung sowie eine Bewertung der Gebrauchstauglichkeit der Methode der Annotation Lines geben (KINKELDEY & SCHIEWE 2012).

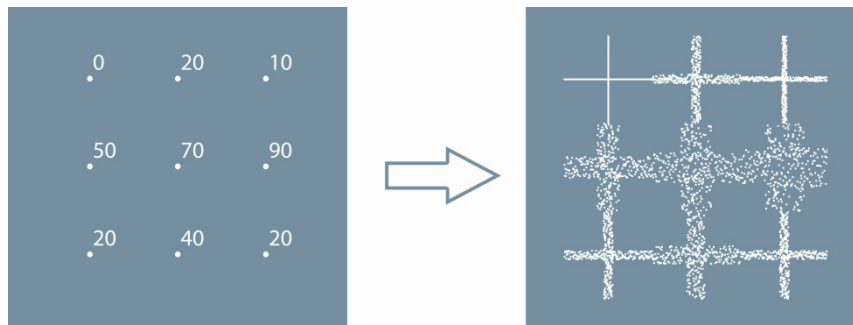


Abbildung 4-2: Konstruktion von Noise Annotation Lines. Jedem prozentualen Unsicherheitswert auf der linken Seite wird ein entsprechender Grad des Rauschens zugeordnet

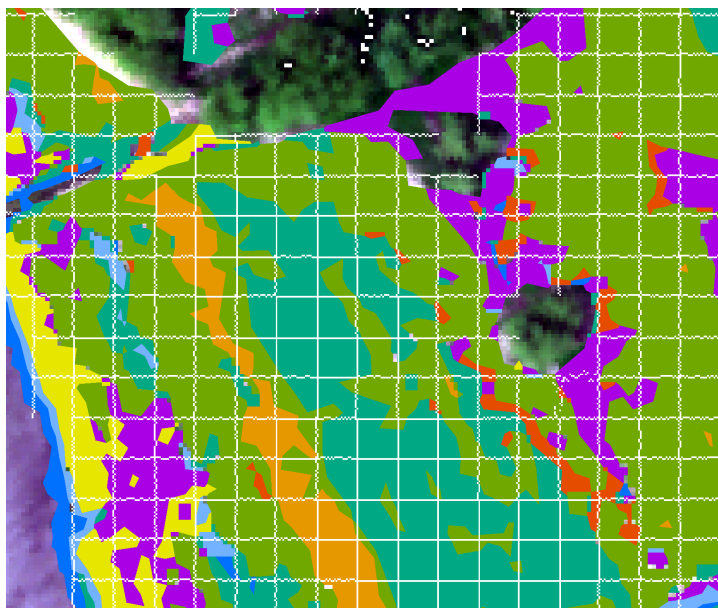


Abbildung 4-3: Noise Annotation Lines

Für die Darstellung der **Unsicherheiten im Grenzverlauf** (aufgrund von Ähnlichkeit, Grenzscharfe und Nachbarschaftswahrscheinlichkeit) musste eine Methode gefunden werden, welche nicht eine flächenhafte Verteilung von Unsicherheiten, sondern unsichere Linien darstellt. In einer Nutzer-Studie verglichen BOUKHELIFA et al. (2012) die Intuitivität und Gebrauchstauglichkeit vier verschiedener Techniken für die Darstellung unsicherer Linien: Unscharfe, gestrichelte und unregelmäßige Linien sowie solche, die in verschiedenen Graustufen dargestellt werden. Ein Ergebnis dieser Studie war, dass die gestrichelten Linien von den Teilnehmern der Studie bevorzugt wurden, ohne Nachteile der Gebrauchstauglichkeit aufzuweisen. Ein Vorteil dieser Variante ist zudem, dass sie eine geringere Überdeckung verursachen, als die anderen genannten Techniken. Aus diesem Grund wurde diese Technik gewählt und als *Ghost Lines* bezeichnet (siehe Abbildung 4-4).



Abbildung 4-4: Ghost Lines zur Darstellung unsicherer Grenzen

Die Erstellung der Unsicherheitslayer erfolgte durch den Einsatz von GIS-Software und mehrerer Software-Tools in Java, die im Rahmen des Projekts erstellt wurden.

Im Fall der **Objekt-Unsicherheiten** gestaltet sich der Workflow folgendermaßen (Abbildung 4-5): Die klassifizierte Kartierung, die als ESRI-Shape-Datei vorliegt, wird in einem beliebigen GIS mit den Unsicherheitswerten versehen (errechnet aus den Maximum-Likelihood-Klassenzugehörigkeits-Werten oder den Rule Images). Damit besitzt jedes Objekt im Datensatz einen Unsicherheitswert. Unter Angabe des Attributnamens für diesen Unsicherheitswert und einer Rasterweite wird mit dem Tool *UncertaintyGridCreation* ein Punktraster erstellt, dessen Punkte den darunterliegenden Unsicherheitswert als Attribut besitzen. Aus diesem Punktraster kann nun mit dem *NoiseAnnotationLines*-Tool in der Unsicherheitslayer erstellt werden. Dieser liegt als georeferenziertes Raster im GeoTIFF-Format vor und kann beliebig weiterverwendet werden, z. B. für die Anzeige im Web-GIS.

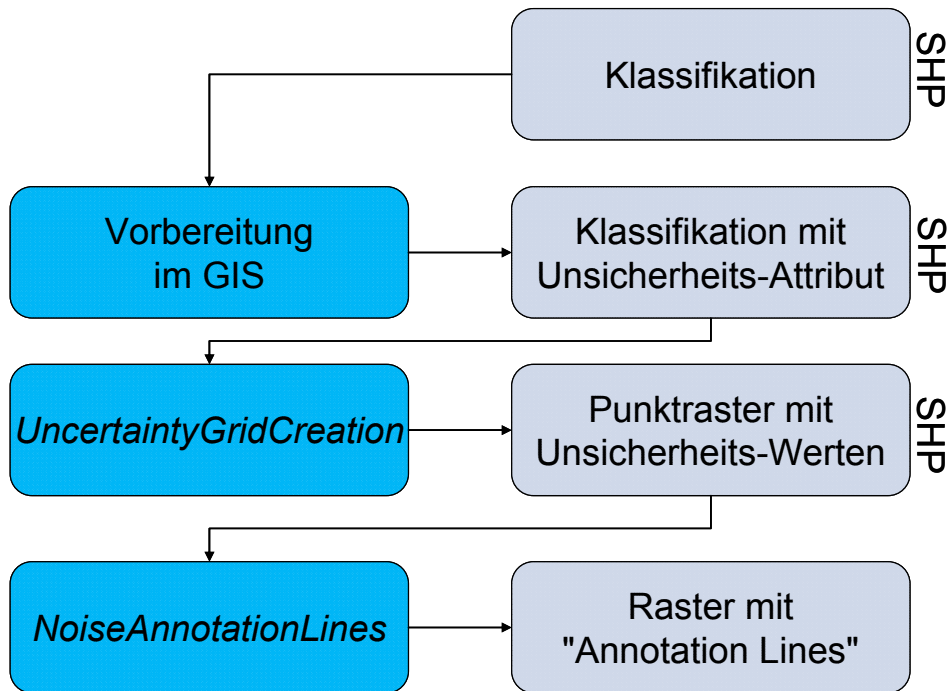


Abbildung 4-5: Workflow für die Erstellung der Annotation Lines zur Visualisierung der Objekt-Unsicherheiten

Für die Erstellung der **Unsicherheiten aus dem Objektverlauf** wurde der folgende Workflow ausgeführt (Abbildung 4-6): Der klassifizierte Datensatz und eine Tabelle mit Unsicherheitswerten für alle Klassenpaare fungieren als Eingabe für das Tool *UncertaintyBoundary*, das die Grenzen der Objekte nach ihrer Nachbarschaft aufteilt und je nach angrenzenden Klassen den

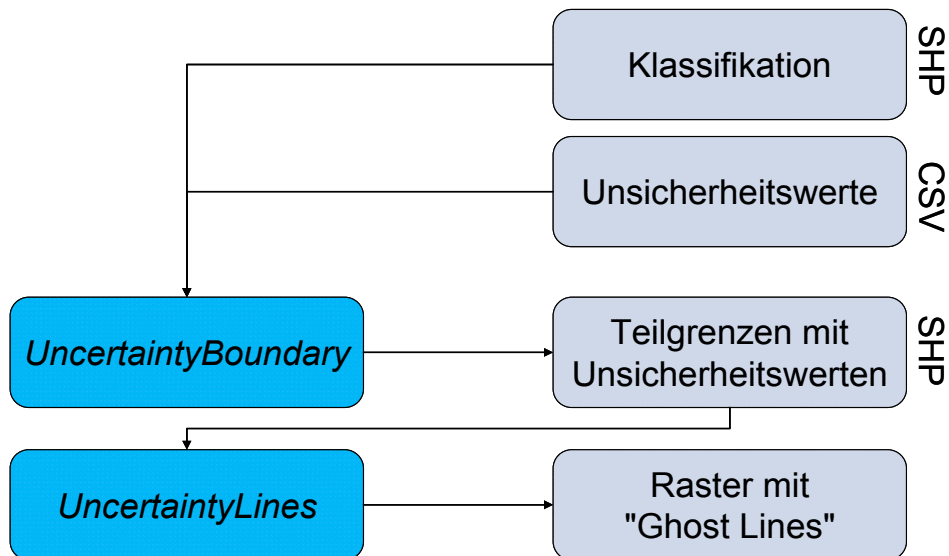


Abbildung 4-6: Workflow für die Erstellung der Ghost Lines zur Visualisierung der Unsicherheiten im Grenzverlauf

Unsicherheitswert aus der Tabelle als Attribut zuweist. Das Zwischenergebnis ist eine Shape-Datei mit den Teilgrenzen inklusive ihrer

Unsicherheitswerte. Diese Datei dient als Input für das Tool *UncertaintyLines*, das die GhostLines-Darstellung als georeferenziertes Raster ausgibt (GeoTIFF-Format). In einer separaten Anleitung wird das genaue Vorgehen beschrieben, um die Anwendung für andere Nutzer zu ermöglichen.

4.4 Integration im Webportal

Um die **Nutzung** der erzeugten Unsicherheitsinformationen zu gewährleisten, wurden die erzeugten Unsicherheits-Layer zusammen mit den relevanten Geo- und Fachdaten (z. B. den Fernerkundungsbildern und Klassifikationsergebnissen) in das webbasierte Geoportal der Bundesanstalt für Gewässerkunde integriert. Da dieses die ESRI ArcGIS-Server-Technologie nutzt, ist das Einstellen der Daten in Form eines ArcMap-Projekts und der zugehörigen Datei-Geodatenbank möglich. Es wurden Unsicherheitslayer für mehrere Maßstabsbereiche erzeugt und integriert, um einen guten Kompromiss aus Überdeckung und Detailgrad der Information zu erreichen. Da die Unsicherheitslayer über die OGC-konforme Web Mapping Service (WMS)-Schnittstelle zugänglich sind, können sie in andere Anwendungen importiert werden, die diese Schnittstelle unterstützen, wie zum Beispiel ArcGIS und viele andere GIS, Google Earth oder NASA WorldWind.

5 Ergebnisse

5.1 Anforderungsanalyse

Die Anforderungsanalyse ist mithilfe eines Fragebogens durchgeführt worden, der an 30 potenzielle Nutzer des Web-GIS gesendet wurde. Wie in Kapitel 4. 1 bereits erwähnt, wurde der Rücklauf über drei Wochen gesammelt und Teilnehmer, die nicht geantwortet haben, erneut angeschrieben. Während aus der Nutzergruppe „Wissenschaft“ alle Teilnehmer den Fragebogen ausfüllten, lagen die Quoten bei den Gruppen „Schifffahrt“ und „Naturschutz“ bei fünf von acht bzw. vier von sechs (Abbildung 5-1). Aus der Nutzergruppe „Tourismus“ konnten leider keine Antworten erhalten werden.

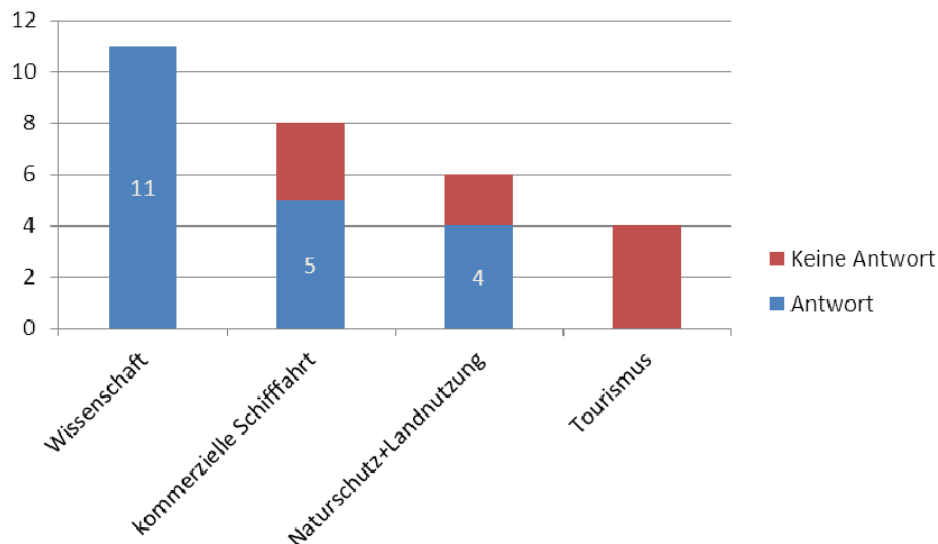


Abbildung 5-1: Rücklauf des Fragebogens

Die Gesamt-Teilnehmerzahl von 20 Personen, sowie die stark unterschiedlichen Antwortzahlen je Nutzergruppe lassen keine fundierten statistischen Aussagen zu. Dennoch soll im Folgenden die Tendenz der Aussagen für die Multiple Choice-Fragen 1 bis 4 anhand der Mittelwerte dokumentiert werden.

> Frage 1: Wie relevant sind folgende Karteninhalte für Ihre Arbeit?

In der ersten Frage sollte die Relevanz verschiedener Karteninhalte für die Arbeit des Nutzers angegeben werden. Zehn verschiedene Inhalte standen zur Auswahl, von Biotoptypen bis zu Hotels und Pensionen. Die Antworten zeichnen ein recht eindeutiges Bild (Abbildung 5-2): Die meisten Inhalte wurden im Mittel als teilweise relevant eingestuft, wobei der Punkt „Hotels, Pensionen“ eine Ausnahme darstellt und als eher irrelevant eingeschätzt

wurde. Das Antwortverhalten der drei Nutzergruppen im Vergleich ist ähnlich, jedoch fielen in der Gruppe „Naturschutz“ die Bewertungen insgesamt höher aus. Für die Gruppe „Schifffahrt“ wurden Deiche im Vergleich zu den anderen Inhalten als besonders relevant eingestuft. Interessant waren die zusätzlich angegebenen Karteninhalte, z. B. Wassertiefen und Sedimentstruktur im Naturschutz, Hochwasserschutz-Anlagen und Fahrrinne in der Schifffahrt und Topographische Höhe und Bodentypen in der Wissenschaft.

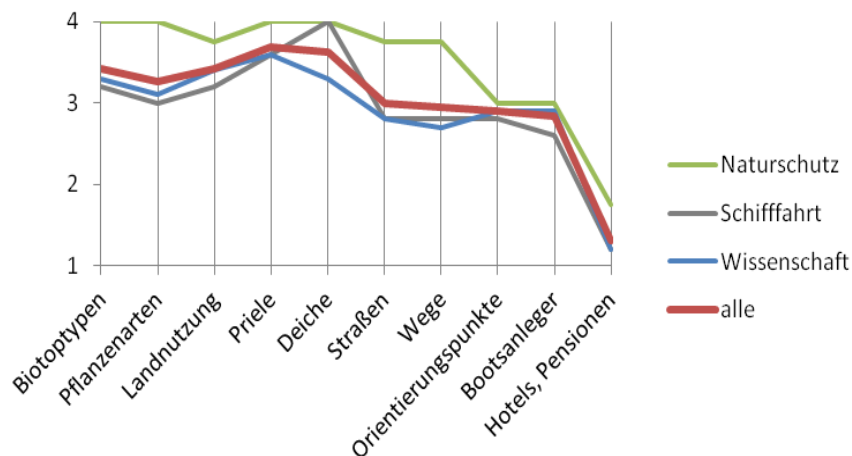


Abbildung 5-2: Ergebnisse für Frage 1 (Mittelwerte, 1 = irrelevant, 2 = wenig relevant, 3 = teilweise relevant, 4 = relevant)

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die in der Frage angeführten Karteninhalte bis auf „Hotels, Pensionen“ für alle Nutzergruppen zumindest teilweise relevant sein können. Die zusätzlichen Nennungen haben gezeigt, dass jedoch zusätzliche Inhalte je nach Nutzergruppe benötigt werden. Alle gewünschten Inhalte anzubieten, wäre eine mögliche Lösung, die jedoch wenig praktikabel erscheint. Ein weiterer Ansatz ist, dass das Einbinden anderer Datensätze im Web-GIS ermöglicht wird und die Layer aus dem Web-GIS über Standard-Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden. Dann könnte die teilweise Integration der im Web-GIS angebotenen Daten auch in die Systeme der Nutzer erfolgen.

> Frage 2: Wie relevant sind folgende Unsicherheitsinformationen für Ihre Arbeit?

Unsicherheitsinformationen waren das Thema der zweiten Frage, fünf verschiedenen Arten sollten in ihrer Relevanz für die Arbeit des Nutzers eingestuft werden.

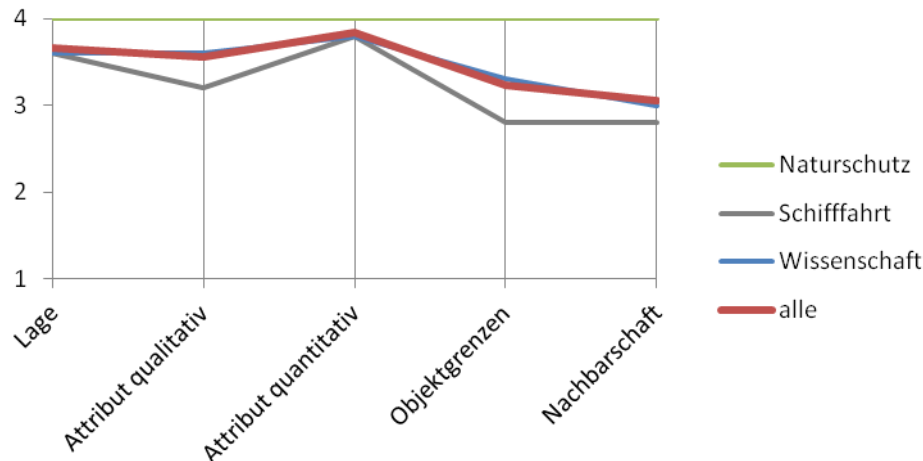


Abbildung 5-3: Ergebnisse für Frage 2 (Mittelwerte, 1 = irrelevant, 2 = wenig relevant, 3 = teilweise relevant, 4 = relevant)

Bei Betrachtung aller Antworten (Abbildung 5-3) erscheinen zunächst mal alle Arten von Unsicherheiten mindestens teilweise relevant. Während die Teilnehmer aus der Gruppe Naturschutz alle Arten von Unsicherheiten durchweg als relevant eingestuft haben, zeigt sich in den anderen beiden Gruppen ein etwas differenzierteres Bild. Die Nutzer aus der Schiffahrt haben den Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Lage und mit quantitativen Attributen die höchste Relevanz beigemessen, vor Unsicherheiten bezüglich der Objektgrenzen und der Nachbarschaft wurden von dieser Gruppe als relativ weniger relevant als die anderen Arten eingestuft.

> Frage 3: Für welche Zwecke können Unsicherheitsinformationen relevant sein?

Die dritte Frage behandelte die potenzielle Nutzung von Unsicherheitsinformationen. Vier mögliche Antworten wurden vorgegeben: „Grobe Einschätzung“, „Interpretation“, „Modellierung“ und „inhaltliche Entscheidungen“. Auch hier können bei der Betrachtung der Gesamtmenge der Antworten (Abbildung 5-4) keine eindeutigen Präferenzen erkannt werden. Alle vier möglichen Zwecke wurden im Mittel zwischen „teilweise relevant“ und „relevant“ bewertet. Auch zwischen den Gruppen gibt es kaum Unterschiede, lediglich die Gruppe „Naturschutz“ weicht davon ab

und misst der Rolle von Unsicherheiten bei der „Modellierung“ am wenigsten, für eine „grobe Einschätzung“ merklich höhere Relevanz bei.

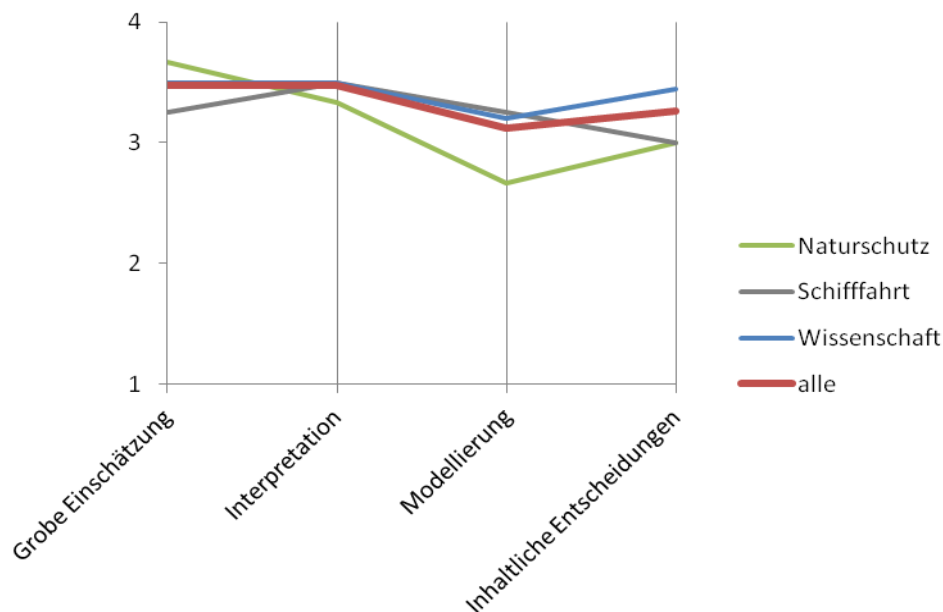


Abbildung 5-4: Ergebnisse für Frage 3 (Mittelwerte, 1 = irrelevant, 2 = wenig relevant, 3 = teilweise relevant, 4 = relevant)

Dass die meisten Nutzer die Relevanz von Unsicherheitsinformation in der Modellierung als relativ hoch einschätzen, führt zur Überlegung, dass neben der Visualisierung der Unsicherheiten im Web-GIS diese eventuell auch als Datensatz zum Herunterladen anzubieten, damit eine Weiterverarbeitung in einem Modell erfolgen kann.

> Frage 4: Wie relevant sind folgende Karten-Funktionen für Ihre Arbeit?

Das Thema der vierten Frage war die Relevanz verschiedener Kartenfunktionen, welche die Interaktion des Nutzers betreffen. Zur Auswahl standen Navigationsfunktionen wie „Verschieben der Karte“ oder „Zoomen“, aber auch die Verwaltung der Kartenebenen, das Messen von Distanzen und Flächen, die Abfrage von Attributen und das Setzen von Markern.

Es ergibt sich auch hier das Bild von relativ hohen Werten für die Relevanz mit wenigen Ausreißern (Abbildung 5-5). Bemerkenswert ist, dass die Funktion „Marker setzen“ von allen Gruppen als weniger relevant eingestuft wurde, als die anderen Funktionen. Die Antworten der Gruppe „Naturschutz“ wiesen eine geringere Relevanz für das „Überblenden von Ebenen“ auf. Auch hier gab es zusätzliche Angaben wie das Zuschalten

eigener Ebenen und das Weiterleiten von Markierungen per E-Mail, welche jedoch nicht als gruppenspezifisch bewertet wurden.

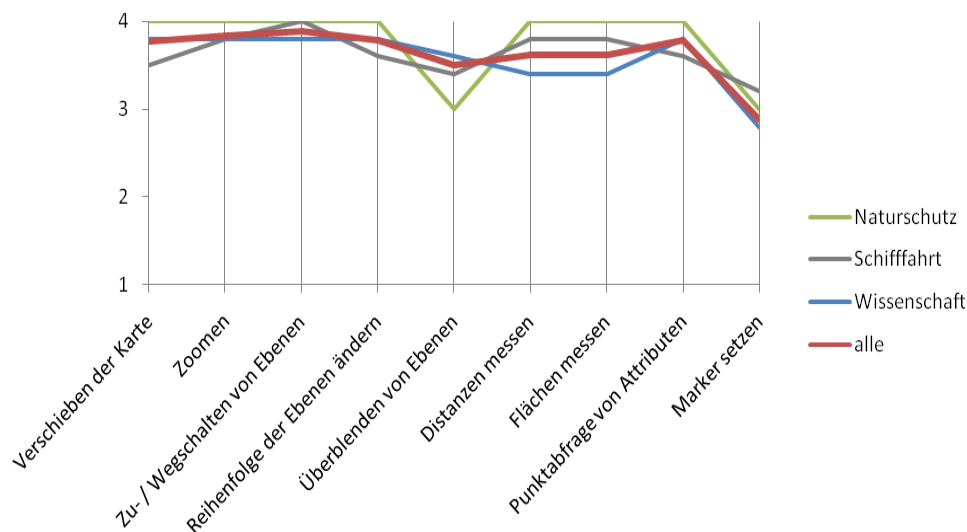


Abbildung 5-5: Ergebnisse für Frage 4 (Mittelwerte, 1 = irrelevant, 2 = wenig relevant, 3 = teilweise relevant, 4 = relevant)

Insgesamt kann man behaupten, dass die gewünschten Funktionalitäten (auch solche, die zusätzlich genannt wurden) von einem Standard-Web-GIS größtenteils abgedeckt werden und somit keine außergewöhnlichen Anforderungen festzustellen sind.

> Frage 5: Gibt es generelle Nutzung, Ziele und Anmerkungen?

Die Frage 5 gab den Teilnehmern die Möglichkeit, sich zur möglichen Nutzung des Web-GIS zu äußern („Was versprechen Sie sich von der Nutzung eines Web-GIS? Welche Fragestellungen möchten Sie durch die Nutzung beantworten?“). Die Antworten reichten von „Aussagen über die Qualität der Daten zu bekommen“, „Kommunikationswerkzeug“ und „Räumliche Visualisierung der Metadaten“ bis zu „Vereinfachter Download von Daten“. Dies weist auf eine breite Palette von Nutzungsanforderungen hin, von der Präsentation und der Kommunikation der Daten bis zum Vertrieb. Die Bearbeitung dieser Anforderungen ist für ein Web-GIS-Tool, das häufig als kombiniertes Analyse- und Kommunikationstool genutzt wird, nicht unüblich. Insgesamt sind keine unerwarteten Anforderungen genannt worden und Besonderheiten für einzelne Nutzergruppen konnten nicht festgestellt werden.

Unter dem letzten Punkt, „Anmerkungen“, konnten Wünsche und Ideen zum Web-GIS geäußert werden. Die Angaben reichten von generellen Anforderungen an das System („Schnelle Antwortzeiten“, „Intuitive

Bedienung“) bis hin zu spezifischeren Vorschlägen wie der „Kompatibilität mit WSV-GeoViewer“ und „Verknüpfung mit www.kuestendaten.de“.

Alles in allem stellte sich heraus, dass die Ergebnisse ein recht homogenes Nutzungsverhalten widerspiegeln, lediglich hinsichtlich der darzustellenden Themen gab es erwartungsgemäß fachspezifische Unterschiede. Es gibt keine Hinweise darauf, dass die Modellierung oder die Visualisierung der Unsicherheiten differenziert nach Nutzergruppen durchgeführt werden müssten.

Ein Ziel sollte es sein, möglichst viele der benötigten Inhalte abzudecken und die technische Möglichkeit zu geben, eigene Datensätze in das Web-GIS einzubinden und auch die vorhandenen Datensätze über standardisierte Schnittstellen verfügbar zu machen. So kann auf die unterschiedlichen inhaltlichen Anforderungen eingegangen werden.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass Unsicherheitsinformationen in der Praxis noch sehr selten genutzt werden und damit Fragen zu diesem Themenkomplex für die Nutzer eher theoretischer Natur sind. Dies kann ein Grund sein, warum sich kaum Spezifika einzelner Nutzergruppen erkennen ließen.

Um detaillierte Aussagen zu den Anforderungen der einzelnen Nutzergruppen treffen zu können, könnten in Zukunft Befragungen vorgenommen werden, die auf Beispielkarten basieren. Es ist anzunehmen, dass anhand von Kartendarstellungen die Nutzer ihre Anforderungen konkreter formulieren können. Die Erkenntnisse dieser Analyse könnten die Grundlage für eine solche Befragung liefern und dabei helfen, erste Hypothesen zu den Nutzergruppen zu formulieren.

5.2 Modellierung der Unsicherheiten

Für die Modellierung der Unsicherheiten wurde ein gemischter bzw. selektiver Ansatz mit qualitativen und quantitativen Beschreibungen verfolgt. Die Begründung dafür war zum einen, dass in der Anforderungsanalyse alle genannten Arten von Unsicherheit als ähnlich relevant bezeichnet wurden, diese also keine Handhabe für die Selektion einzelner Arten lieferten. Zum anderen war die aus dem Prozess der Datenaufbereitung und –erfassung verwertbare Information für das Unsicherheitsmodell sehr beschränkt. Aus diesem Grund wurde der Ansatz gewählt, einzelne Aspekte des Expertenwissens zu den Kartierungen so zu formulieren, dass dieser zur Quantifizierung der Unsicherheiten herangezogen werden kann.

Die Aufteilung wurde letztendlich in zwei Hauptgruppen vorgenommen: Objektunsicherheiten und Unsicherheiten im Grenzverlauf. Die quantitativen Informationen aus dem Schritt der Klassifikation in Form der Güte der Klassenzuweisung zu einer bestimmten Fläche wurden für die thematischen Objektunsicherheiten eingesetzt. Die qualitativen Informationen aus dem Expertenwissen zu Ähnlichkeit, Grenzscharfe und Nachbarschaften wurden für die Ermittlung der Unsicherheiten im Grenzverlauf verwendet.

Für die **thematischen Objektunsicherheiten** wurden die Informationen zur Klassifikationsgüte der Kartierungen der Universität Bonn (ASIA Eagle) und der TU Berlin (RapidEye) zugrunde gelegt, womit die Unsicherheiten aus der Klassifikation quantifiziert werden konnte. Erstellt wurden jeweils drei Layer unterschiedlicher Gitterweite für drei Maßstabsbereiche (siehe Tab. 5-1), um einen sinnvollen Kompromiss zwischen möglichst geringer Überdeckung (große Gitterweite) und einem möglichst hohen Detailgrad (kleine Gitterweite) der Darstellung zu erreichen.

Tabelle 5-1: Gitterweiten der Annotation Lines für verschiedene Maßstabsbereiche

Maßstab	Gitterweite
< 1:1000	10 m
1:1000 bis <1:3000	20 m
1:3000 bis 1:10000	40 m

Bei den **Unsicherheiten im Grenzverlauf** handelt es sich um die Unsicherheiten, welche den Verlauf einer Grenze zwischen zwei Objekten betreffen. Drei verschiedene Arten konnten quantifiziert werden: Unsicherheiten aus Klassenähnlichkeit, aus der Grenzscharfe und aus der Nachbarschaftswahrscheinlichkeit (siehe Kapitel 4.2). Die Abfrage des Expertenwissens fand in Form von Matrizen in Excel statt, die Ergebnisse

sind in Anhängen II-1 bis II-3 dokumentiert. Zu einigen Klassenpaaren der Matrizen zur Ähnlichkeit und zu Grenzschrägen sind keine Aussagen gemacht worden („NA“). Das liegt entweder daran, dass keine vertretbare Aussage für diesen Fall gemacht werden konnte oder dass dieser Fall in den betrachteten Kartierungen nicht auftritt. Das Ausfüllen erfolgte nach bestem Wissen und Gewissen, konnte jedoch nicht systematisch evaluiert werden. Da es jedoch möglich ist, weiterhin Korrekturen und Erweiterungen an den Matrizen vorzunehmen und die Werte im Modell damit neu zu bestimmen, kann eine iterative Verbesserung der Matrizen erfolgen.

Die angesprochene Komplexität sowie heterogene Korrelationen zwischen diesen Maßen erlaubten es nicht, eine **zusammenfassende Kenngröße** zu ermitteln. Stattdessen erfolgt die Beschreibung der Unsicherheiten getrennt nach den oben beschriebenen Parametern.

5.3 Visualisierung der Unsicherheiten

Die Gründe für die Wahl der **Annotation Lines** für die Visualisierung der Unsicherheiten in den Ergebnisdaten wurden in Kapitel 4.3 dargelegt. Eine systematische Evaluation dieser Technik gibt es noch nicht, aus ersten Tests können jedoch Hinweise auf die Eigenschaften der Methode abgeleitet werden (KINKELDEY & SCHIEWE 2012). Grundsätzlich scheint das Rauschen der Noise Annotation Lines eine geeignete Metapher für Unsicherheiten zu sein, denn Betrachter der Darstellung brauchen in der Regel keine Legende, um sichere und unsichere Gebiete zu unterscheiden. Die Technik besitzt durch ihre Gitterstruktur in der Regel einen generalisierenden Effekt, denn naturgemäß werden nicht alle Unsicherheitswerte dargestellt, sondern je nach Gitterweite mehr oder weniger Werte. Die Darstellung eignet sich eher dazu, einen qualitativen Eindruck über die Unsicherheiten zu geben, als quantitative Information zu übermitteln, denn das Ablesen einzelner Werte scheint tendenziell schwieriger zu sein als bei anderen Methoden.

Aus diesen Gründen kann man zusammenfassend sagen, dass sich die Noise Annotation Lines für den Einsatz in der Vegetationskartierung eignen, da trotz der relativ komplexen Geometrien (Objekte mit sehr unterschiedlicher Größe und Form) und der vielen darzustellenden Klassen ein Überblick über die Unsicherheiten in den Daten gegeben werden kann. Die Verwendung intrinsischer Techniken wie der Variation der Farbsättigung würde zu sehr unübersichtlichen Darstellungen führen und wäre in Kombination mit dieser Art von Daten weniger geeignet.

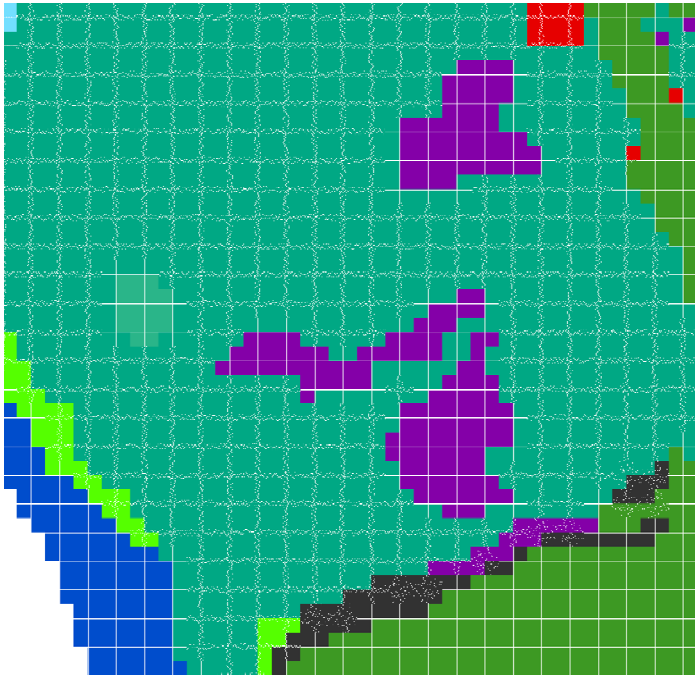


Abbildung 5-6: Annotation Lines-Darstellung für Gebiet Eschschallen (Sommer) zur Darstellung der Unsicherheit der Klassifikation, Gitterabstand: 10 m, unterschiedlich klassifizierte Vegetationseinheiten sind farblich getrennt dargestellt

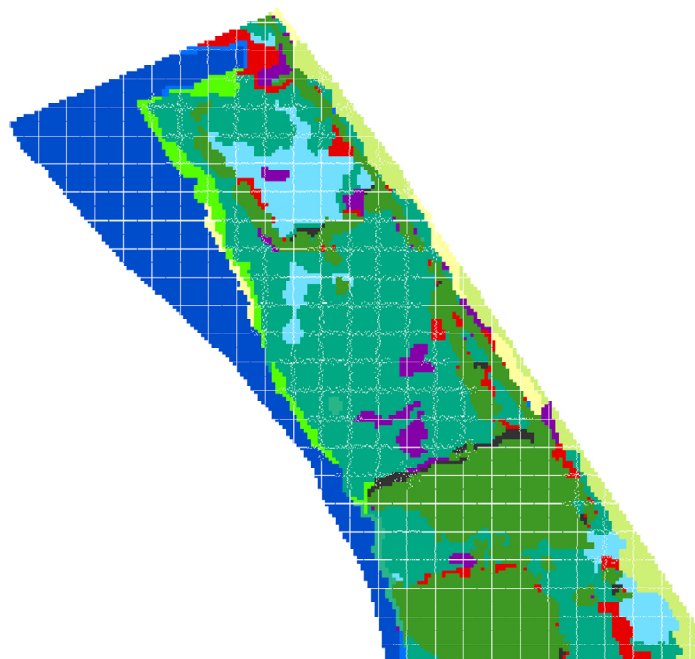


Abbildung 5-7: Annotation Lines-Darstellung für Gebiet Eschschallen (Sommer) zur Darstellung der Unsicherheit der Klassifikation, Gitterabstand: 40 m, unterschiedlich klassifizierte Vegetationseinheiten sind farblich getrennt dargestellt

Als „**GhostLines**“ bezeichnen wir die gestrichelte Darstellung unsicherer Linien (siehe Kapitel 4.3). Wie dort erwähnt, wurde in einer aktuellen

Studie die grundsätzliche Eignung dieser Technik für die Unsicherheitsvisualisierung sowohl im Hinblick auf Intuitivität, als auch Gebrauchstauglichkeit festgestellt. Im Fall der Vegetationskartierung ist diese Technik vor allem sinnvoll, da sie eine konstante Liniendicke entlang der Grenzen besitzt und damit eine geringere Überdeckung verursacht als Techniken, welche die Liniendicke variieren. Besonders im Zusammenhang mit Objekten geringerer Fläche kommt dieser Effekt zum Tragen, da eine breite Linie unter Umständen das gesamte Objekt verdeckt. Eine Eigenschaft von Linientechniken tritt auch bei den GhostLines auf: Es kann sein, dass bei sehr kurzen Teilgrenzen die Breite der Strichelung nicht mehr erkennbar ist und somit Information verloren geht. Jedoch fällt dieser Nachteil im Vergleich zu den Vorteilen der Technik weniger ins Gewicht.

5.4 Integration im Webportal

Die Unsicherheitslayer wurden gemeinsam mit den Ergebnisdaten des Projekts 3.09 in das Web-GIS der BfG (Geoportal@BfG), eingestellt. Dabei war zu beachten, dass für verschiedene Maßstabsbereiche Annotation Lines mit unterschiedlichen Gitterweiten erstellt wurden (Abbildung 5-6 bis Abbildung 5-8). Die Integration verlief problemlos über die vorherige Erstellung eines ArcMap-Projekts (*.mxd-Datei).

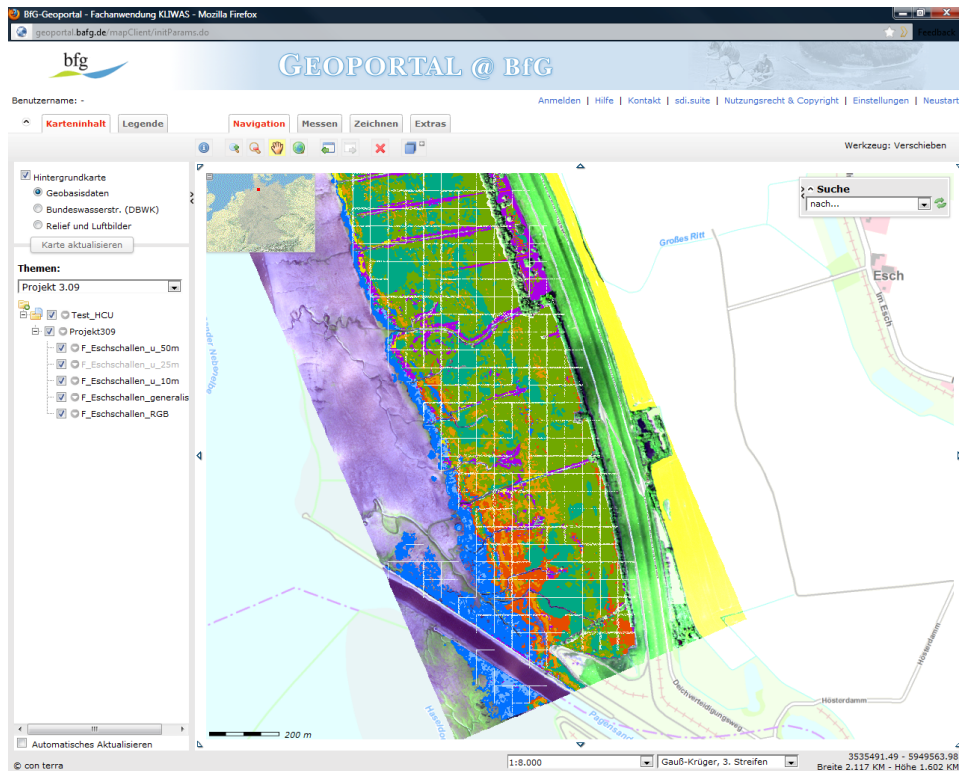


Abbildung 5-8: Anzeige der Annotation Lines im Geoportal@BfG, Maßstab 1:8000

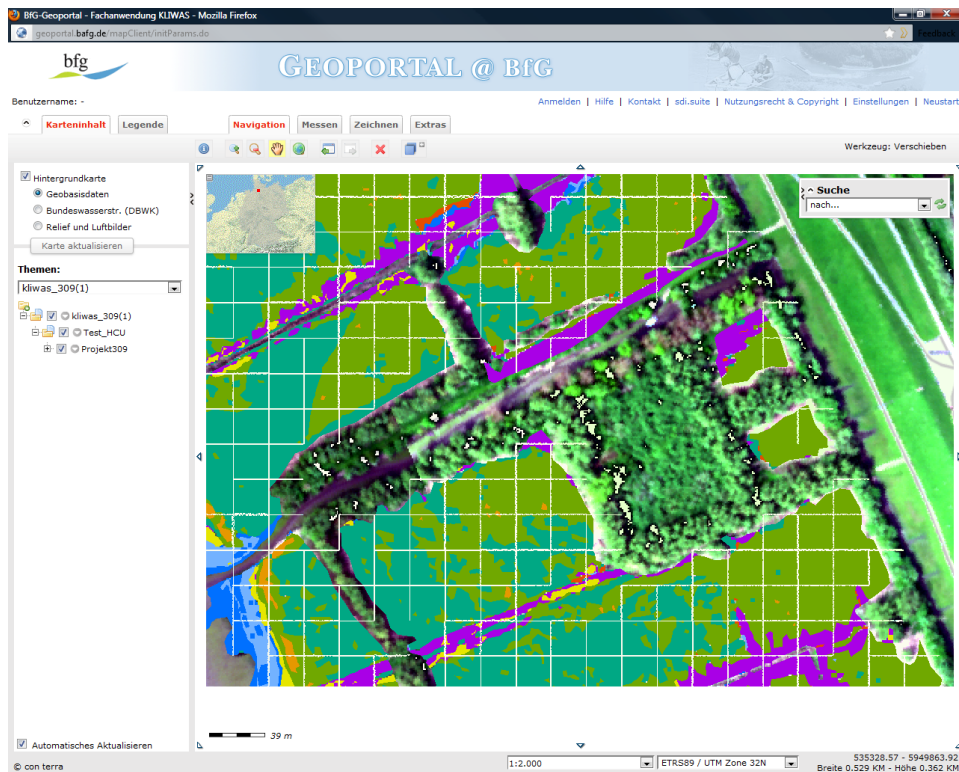


Abbildung 5-9: Anzeige der Annotation Lines im Geoportal@BfG, Maßstab 1:2000

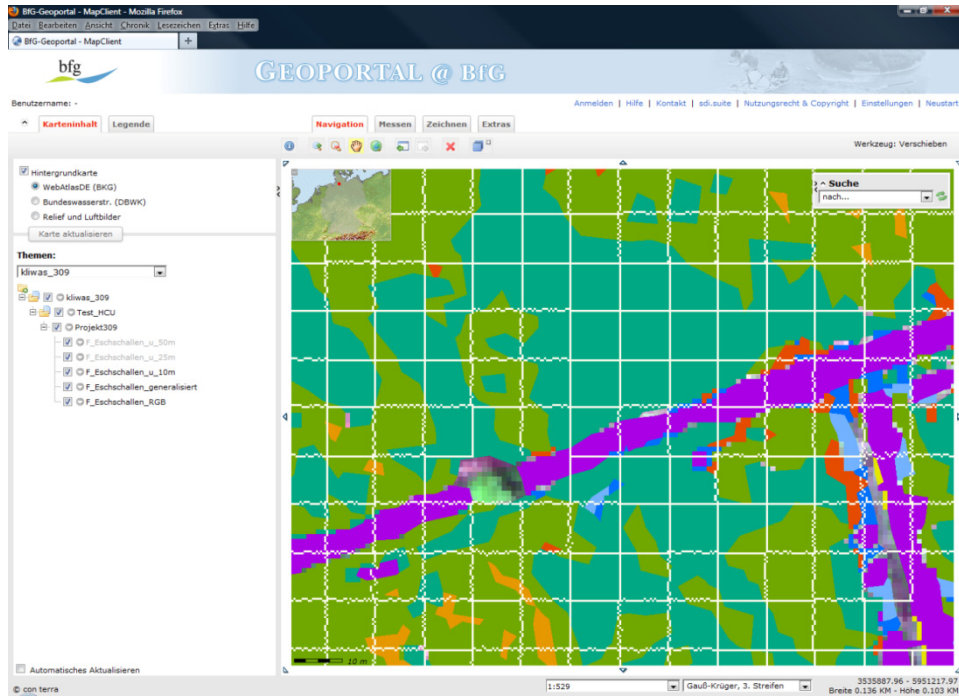


Abbildung 5-10: Anzeige der Annotation Lines im Geoportal@BfG, Maßstab 1:500

6 Fazit

Dieser Bericht beschreibt den Aufbau einer Unsicherheitskette für die Ergebnisdaten der Querschnittsaufgabe Fernerkundung des KLIWAS-Projekts 3.09. Diese bestand aus einer Anforderungsanalyse, der Modellierung und Visualisierung von Unsicherheiten sowie die Nutzbarmachung über die Integration in ein Web-GIS.

Die Übertragbarkeit des vorgestellten Arbeitsablaufes auf andere Anwendungsfälle ist grundsätzlich gewährleistet. Große Teile laufen dank der entwickelten Java-Tools automatisiert ab, sodass 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.

Hinsichtlich der einzelnen Komponenten lassen sich die Ergebnisse dieses Vorhabens wie folgt bewerten:

Die **Modellierung** von Unsicherheiten ist hinsichtlich des Arbeitsaufwandes ein oft unterschätzter Schritt. Die starke Anwendungsabhängigkeit ergibt sich durch das Zusammenspiel des konkreten konzeptionellen Modells (z. B. des Katalogs der zu erfassenden Vegetationsarten) und der thematischen Detailtiefe, die aus vorhandenen (Fernerkundungs-)Daten abgeleitet werden kann. Eine einfache Übertragbarkeit auf andere Anwendungen ist kaum realisierbar. Die wissenschaftliche Erkenntnis aus diesem Vorhaben bezieht sich vielmehr auf die Vorgehensweise als solche. Weitere Forschung in diesem Bereich sollte daher auch eine noch abstraktere Formulierung des Vorgehens ermöglichen, um Fachanwendern quasi eine Handlungsanweisung geben zu können.

Wie auch in den meisten in der Literatur beschriebenen Arbeiten behandelt die Modellierung auch hier nur eine a-posteriori, summarische Beschreibung unabhängig von der Ursache der Unsicherheiten. Auch in diesem KLIWAS-Teilprojekt zeigte sich, dass sich die beiden genannten Aspekte der thematischen und geometrischen Unsicherheiten sich nicht strikt trennen lassen können, was die Komplexität der Beschreibung weiter erhöht.

Bezüglich der **Visualisierung** von Unsicherheitsinformationen gibt es wie bereits dargelegt bis heute keine standardisierten Methoden, da auch kaum eine systematische Evaluierung stattfindet und die Anforderungen sehr individuell sind. Mit den in diesem KLIWAS-Projekt konzipierten und implementierten Darstellungsmethoden (speziell den Annotation Lines) ist

aber ein wichtiger Fortschritt erzielt worden, der auch in der kartographischen Literatur dokumentiert werden konnte. Die gute Erfassbarkeit von relativen Unsicherheiten (z. B. zwischen benachbarten Polygonen) konnte bereits nachgewiesen werden. Weitere Forschungsarbeiten müssen nun noch die Übertragbarkeit auf weitere Anwendungsszenarien nachweisen.

Im Zusammenhang mit der **Nutzung** von Unsicherheitsinformationen stellt die Integration der Visualisierungen in das BfG-Portal sicherlich nur einen praktischen Schritt dar. Dieser ermöglicht aber nun weitere Untersuchungen zur tatsächlichen Gebrauchstauglichkeit (Usability) und dem Nutzungserlebnis (User Experience). Derzeit sind Nutzerstudien zur Annotation Lines-Methode am g²lab der HafenCity Universität geplant, die weitere Erkenntnisse liefern werden. Die Abschätzung der Nutzbarkeit der Unsicherheitsinformation für verschiedene Nutzergruppen wäre ein sinnvoller nächster Schritt. Es wird vorgeschlagen, Befragungen einzelner Nutzer vorzunehmen, die das Webportal tatsächlich in ihre Arbeit eingebunden haben und eine gewisse Erfahrungsdauer (z. B. zwei bis drei Monate) aufweisen können.

Insgesamt ist mit diesen Arbeiten eine Basis geschaffen worden, um das noch sehr forschungsintensive Thema der Unsicherheiten in Richtung der Anwendung in der Praxis weiterzuentwickeln. Es ist der Eindruck gewonnen worden, dass allein durch die Nutzerbefragung und die Vorstellung der Projektidee eine Schärfung des Bewusstseins bzw. eine Steigerung der Akzeptanz für die Notwendigkeit der Kommunikation von Unsicherheiten erzielt wurde. Dieser Weg soll durch den Einsatz im Geoportal@BfG weitergeführt und intensiviert werden.

Literatur

- ANDRIENKO, N. (2005): Impact of Data and Task Characteristics on Design of Spatio-Temporal Data Visualization Tools. In: Dykes, J., MacEachren, A. M. & M.-J. Kraak: Exploring Geovisualization. (Elsevier) Amsterdam. 201–222.
- BAHLS, A. & KLEINSCHMIT, B. (2012): Querschnittsaufgabe Fernerkundung. Konzeption für ein Langzeitmonitoring der gezeitenbeeinflussten Vegetation mit hochaufgelösten Satellitendaten. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.): KLIWAS Schriftenreihe 13/2012, KLIWAS-Projekt 3.09. DOI: 10.5675/Kliwas_13.2012_Fernerkundung_2.
- BOUKHELIFA, N., BEZERIANOS, A., ISENBERG, T. & FEKETE, J.-D. (2012): Evaluating Sketchy Lines for the Visualization of Qualitative Uncertainty. Abrufbar unter: <http://hal.inria.fr/hal-00682965>.
- CAERS, J. (2011): Modeling Uncertainty in the Earth Sciences. (Wiley-Blackwell) Chichester, UK.
- CONGALTON, R. G. (1991): A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. In: Remote Sensing of Environment 37 H. 1. S. 35–46.
- CONGALTON, R. G. & GREEN, K. (2009): Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data. Principles and Practices. (CRC Press/Taylor & Francis) Boca Raton.
- DEITRICK, 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. (Springer Berlin Heidelberg) 719–738.
- EDWARDS, G. & LOWELL, K. E. (1996): Modeling uncertainty in photointerpreted boundaries. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 62 H. 4. S. 377–390.
- EHLERS, M. & WENZHONG, S. (1996): Error Modelling for Integrated GIS. In: Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization 33 H. 1. S. 11–21.
- EVANS, B. J. (1997): Dynamic Display of Spatial Data Reliability: Does It Benefit the Map User? In: Computers & Geosciences 23 H. 4. S. 409–442.

- FAUDE, U. & SCHMIDTLEIN, S. (2012): Querschnittsaufgabe Fernerkundung. Analyse von Störstellen, Röhricht- und Neophytenarten. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.): KLIWAS Schriftenreihe 5/2012, KLIWAS-Projekt 3.09, DOI: 10.5675/KLIWAS_5.2012_Fernerkundung_1.
- FISHER, P. (2000): Sorites Paradox and Vague Geographies. In: Fuzzy Sets and Systems 113 H. 1. S. 7–18.
- GAHEGAN, M. & EHLERS, M. (2000): A Framework for the Modelling of Uncertainty between Remote Sensing and Geographic Information Systems. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 55 H. 3. S. 176–188.
- GERHARZ, L., PEBESMA, E. & HECKING, H. (2009): Usability of Interactive and Non-interactive Visualization of Uncertain Geospatial Information. In: Ehlers, M., Krüger, A. & W. Reinhardt. Geoinformatik 2009: 31. März - 02. April 2009, Osnabrück ; Konferenzband, Münster.
- GOODCHILD, M. F. & GOPAL, S. (1989): The Accuracy of Spatial Databases. (Taylor & Francis) London.
- HUNTER, G. & GOODCHILD, M. F. (1993): Managing Uncertainty in Spatial Databases: Putting theory into practice. In: Papers from the Annual Conference "Urban and Regional Information Systems Association, 15.
- INTERRANTE, V. (2000): Harnessing Natural Textures for Multivariate Visualization. In: IEEE Computer Graphics and Applications 20 H. 6. S. 6–11. Abrufbar unter: <http://www-users.cs.umn.edu/~interran/papers/visview00.pdf> (letzter Abruf: 24.10.2011).
- KINKELDEY, C. & SCHIEWE, J. (2012): Visualisierung thematischer Unsicherheiten mit „Noise Annotation Lines“. In: Kartographische Nachrichten 62 H. 5. S. 241–249.
- LEITNER, M. & BUTTENFIELD, B. P. (2000): Guidelines for the Display of Attribute Certainty. In: Cartography and Geographic Information Science 27 H. 1. S. 3–14.
- LOWRY, J. H., RAMSEY, R. D., LANGS STONER, L., KIRBY, J. & K. SCHULZ (2008): An Ecological Framework for Evaluating Map Errors Using Fuzzy Sets. In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 74 H. 12. S. 1509–1519.

- MACEACHREN, A. M. (1992): Visualizing Uncertain Information. In: Cartographic Perspectives 13. S. 10–19.
- MACEACHREN, A. M. (1995): How Maps Work. Representation, Visualization, and Design. (Guilford Press) New York.
- MACEACHREN, A. M., ROBINSON, A., HOPPER, S., GARDNER, S., MURRAY, R., GAHEGAN, M. & E. HETZLER (2005): Visualizing Geospatial Information Uncertainty: What We Know and What We Need to Know. In: Cartography and Geographic Information Science 32 H. 3. S. 139-160.
- PONTIUS, R.G. & LIPPITT, C.D. (2006): Can Error Explain Map Differences Over Time? Cartography and Geographic Information Science. 33(2): 159-171.
- SCHIEWE, J. (2010): Einsatz von Methoden zur interaktiven Visualisierung und Analyse von Unsicherheiten bei der Auswertung von Geodaten. In: GIS.Science 23 H. 1. S. 26–33.
- SCHIEWE, J., EHLERS, M., KINKELDEY, C. & TOMOWSKI, D., (2009): From Fuzzy and Object based Classification to Fuzzy and Object based Uncertainty Evaluation. In: MICHEL, J. & CIVCO, D. L.: Proceedings of SPIE. 7478, Berlin.
- SENARATNE, H., GERHARZ, L., PEBESMA, E. & SCHWERING, A. (2012): Usability of Spatio-Temporal Uncertainty Visualisation Methods. In: 15th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Avignon, France.
- SHI, W. (2010): Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyses. (CRC Press/Taylor & Francis) Boca Raton.
- SHI, W. & EHLERS, M. (1993): “S-BAND”, a Model to Describe Uncertainty of an Object in an Integrated GIS/Remote Sensing Environment. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1993. IGARSS '93. Better Understanding of Earth Environment. 1721–1723, Vol. 4.
- VAN DER WEL, F. J. M. (2000): Assessment and Visualisation of Uncertainty in Remote Sensing Land Cover Classifications. Dissertation, Utrecht. Abrufbar unter: <http://igitur-archive.library.uu.nl/dissertations/1903229/inhoud.htm>.
- VAN DER WEL, F. J. M., HOOTSMANS, R. M. & ORMELING, F. (1994): Visualization of Data Quality. In: MacEachren, A. M. & Taylor, D. R. F.: Visualization in Modern Cartography. (Pergamon) Oxford, U.K. & New York.

WARE, C. (2001): Information Visualization. Perception for Design. The Morgan Kaufmann Series in Interactive Technologies. (Kaufman) San Francisco. Abrufbar unter:
<http://www.gbv.de/dms/bowker/toc/9781558605114.pdf>.

**Anhang I: Fragebogen für die
Anforderungsanalyse
(nachfolgende Seiten)**

Fragebogen zur Entwicklung eines Web-GIS im Projekt „KLIWAS 3.09 Ästuarvegetation und Vorlandschutz“



Einleitung

Im Rahmen des Projekts 3.09 „Ästuarvegetation und Vorlandschutz“ im Forschungsprogramm KLIWAS wird ein Web-GIS entwickelt. Dieses enthält die im Projekt erzeugten Kartierungen - zunächst für das Elbeästuar, später auch für die Weser. Der Schwerpunkt der Anwendung liegt in der Kommunikation von Unsicherheiten.

Unsicherheiten geben Auskunft darüber, wie sicher die Karteninformationen an welcher Stelle sind. So kann beispielsweise bei der Auswertung von Fernerkundungsdaten in Bereichen mit günstiger Datenlage (z.B. mit wolkenfreiem Bildmaterial) von einer geringeren Unsicherheit ausgegangen werden als in solchen mit niedriger Qualität der Basisdaten (z.B. solches mit starker Bewölkung). Bei der Modellierung von Unsicherheiten können verschiedene Aspekte betrachtet werden, zum Beispiel die Lage der Karteninhalte (Lagegenauigkeit) oder die dargestellten Attribute (thematische Korrektheit). Durch die Unsicherheitsinformation kann der Benutzer die Aussagekraft der Karten besser einschätzen und kann diese Zusatzinformation in seine Entscheidungen einbeziehen. Auch bei der Weiterverarbeitung der Daten können Unsicherheiten eine wichtige Rolle spielen. So werden beispielsweise in der Klimaforschung bei der Berechnung von Projektionen diese Informationen berücksichtigt, um eine Aussage zur Wahrscheinlichkeit verschiedener Szenarien treffen zu können (z.B. Worst-Case- / Best-Case-Szenarien).

Der Zweck dieses Fragebogens liegt darin, die Ansprüche verschiedener Nutzergruppen an das Web-GIS zu erfassen. Das Resultat soll eine nutzerspezifische Anpassung der Anwendung sein, vor allem in Hinblick auf die Kommunikation der Unsicherheitsinformation.

Bitte senden Sie dieses Dokument ausgefüllt zurück an:

christoph.kinkeldey@hcu-hamburg.de

Christoph Kinkeldey, HafenCity Universität Hamburg

Tel.: 040-42827 5304 (für Rückfragen)

Karteninhalte

Wie relevant sind folgende Karteninhalte für Ihre Arbeit?

In den leeren Feldern können weitere Angaben ergänzt werden.

Biototypen	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Zusammensetzung der Pflanzenarten	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Landnutzung	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Priele	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Deiche	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Straßen	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Wege	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Orientierungspunkte	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Bootsanleger	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Hotels, Pensionen	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant

Unsicherheiten

Wie relevant sind folgende Unsicherheitsinformationen für Ihre Arbeit?

In den leeren Feldern können weitere Angaben ergänzt werden.

Lagegenauigkeit	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Attributgenauigkeit (qualitativ) z.B. <i>Biotoptyp</i>	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Attribute (quantitativ) z.B. <i>Höhe über NN</i>	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Objektgrenzen z.B. <i>unscharfe Grenzen</i>	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Objekt-Nachbarschaft z.B. <i>'Objekt A liegt neben B'</i>	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant

Für welche Zwecke können Unsicherheitsinformationen relevant sein?

In den leeren Feldern können weitere Angaben ergänzt werden.

Grobe Einschätzung, wie sicher / unsicher die Karteninformation ist	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Hilfsmittel für die Interpretation der Karten	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Nutzung der Unsicherheiten für die Modellierung	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Hilfsmittel für inhaltliche Entscheidungen	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant

Interaktion

Wie relevant sind folgende Karten-Funktionen für Ihre Arbeit?

In den leeren Feldern können weitere Angaben ergänzt werden.

Verschieben der Karte	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Zoomen	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Zu- / Wegschalten von Ebenen	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Reihenfolge der Ebenen ändern	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Überblenden von Ebenen	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Distanzen messen	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Flächen messen	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Punktabfrage von Attributen	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
Marker setzen	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant
	☐ relevant	☐ teilweise relevant	☐ wenig relevant	☐ irrelevant

Generelle Nutzung und Ziele

Was versprechen Sie sich von der Nutzung eines Web-GIS? Welche Fragestellungen möchten Sie durch die Nutzung beantworten?

Anmerkungen

Haben Sie weitere Wünsche oder Ideen hinsichtlich des Web-GIS? *(optional)*

Haben Sie Anmerkungen (Kritik, Wünsche) hinsichtlich des Fragebogens? *(optional)*

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Anhang II-1: Unsicherheitsmatrizen: Ähnlichkeit zwischen Klassen

Anhang II-3: Unsicherheitsmatrizen: Nachbarschaften

Häufigkeit der Nachbarschaften	Häufigkeit der Nachbarschaft	
	1	2
Sumpfbinsen-Röhricht	2	2
Teichsimsen-Röhricht	2	1
Strandsimsen-Röhricht	4	3
Rohrkolben-Röhricht	2	3
Schilf-Röhricht	2	3
Rohrgras-Röhricht	5	4
Wasserschaden-Röhricht	5	4
Uferstaudenflur	5	4
Gebüsche	5	4
Wälder (+Baumbestände)	5	4
Grünland	5	4
Reigrasvegetation	5	4
Watt- und Salzwiesenvegetation	5	4
Quellerflur	5	4
Laugenblumenvegetation	5	4
Queckenvegetation	5	4
Ruderalvegetation	5	4
Ruderalvegetation - "Neophyten"	5	4
Strandroggenvegetation	5	4
Trockenrasen	5	4
Sanddornvegetation	5	4
nitrophile Kräuter	5	4
Treibsel	5	4
abgemäht	5	4
Gewässer	5	4
Priel	5	4
Vegetationslose Bereiche	5	4
Watt	5	4
Sand	5	4
Deich - begrünt	5	4
Siedlungsfläche - begrünt	5	4
Siedlungsfläche, Küstenschutzwerke	5	4



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: Jochen Schiewe, Christoph Kinkeldey
HafenCity Universität Hamburg

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

Druck: Bundesanstalt für Gewässerkunde

DOI: 10.5675/Kliwas_14.2013_Fernerkundung_3