

ENTWICKLUNG ALTERNATIVER MAßE ZUR BEWERTUNG DER GÜTE KLASSIFIZIERTER FERNERKUNDUNGSSZENEN

Christoph Kinkeldey, Daniel Tomowski, Jochen Schiewe, Manfred Ehlers

Zusammenfassung: Wir stellen einen integrierten Ansatz zur Bewertung von Unsicherheiten in klassifizierten Fernerkundungsszenen vor, der nicht nur die Unsicherheiten in den klassifizierten Daten, sondern auch in den Referenzdaten berücksichtigt. Dazu werden unscharfe Übergangsbereiche zwischen Objektklassen auf Basis der fuzzy logic-Theorie modelliert. Dies ermöglicht die Berechnung des Gütemaßes „CFCM“ („class-specific fuzzy certainty measure“). Der Beitrag stellt insbesondere die geometrisch-semantic begründete Konstruktion der Übergangsbereiche sowie die Sensitivitätsanalyse des Bewertungsmaßes anhand eines Testszenarios dar.

Schlüsselwörter: Fernerkundung, Bewertungsverfahren, Genauigkeitsbewertung, fuzzy logic, Unsicherheit, Übergangszonen

// DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE MEASURES FOR THE QUALITY ASSESSMENT OF CLASSIFIED REMOTE SENSING SCENES

//Abstract: We present an integrated approach for the assessment of uncertainties in classified remote sensing scenes which considers uncertainties in the classified data as well as in the reference data. For this purpose, transition zones between object classes are defined using a fuzzy logic-based model. This makes the calculation of the measure “CFCM” (“class-specific fuzzy certainty measure”) possible. The contribution concentrates on the geometrically and semantically founded construction of transition zones and a sensitivity analysis of the quality measure by means of a test scenario.

Keywords: remote sensing, evaluation method, accuracy assessment, fuzzy logic, uncertainty, transition zones

Anschrift der Autoren

Dipl.-Ing. Christoph Kinkeldey
Prof. Dr.-Ing Jochen Schiewe
HafenCity Universität Hamburg
Lab for Geoinformatics and Geovisualization (g2lab)
Hebebrandstraße 1
D-22297 Hamburg
E: {christoph.kinkeldey; jochen.schiewe}@hcu-hamburg.de

Dipl.-Umweltwiss. Daniel Tomowski
Prof. Dr.-Ing. Manfred Ehlers
Universität Osnabrück
Institut für Geoinformatik und Fernerkundung
Barbarastr. 22b
D-49074 Osnabrück
E: {dtomowski; mehlens}@igf.uni-osnabrueck.de

1. EINFÜHRUNG

Aus Fernerkundungsdaten abgeleitete Informationen spielen heute in vielfältigen Planungs- und Entscheidungsprozessen eine wichtige Rolle. Die stark verbesserte spektrale und räumliche Auflösung heutiger Daten bringt bei der a posteriori Bewertung von Klassifizierungsergebnissen durch gängige Verfahren Probleme mit sich - aus diesem Grund ist eine Weiterentwicklung im Bereich der Qualitätsbewertung notwendig. Das Projekt „CLAIM“ („*Classification Assessment using an Integrated Method*“) greift diese Thematik auf und stellt einen integrierten Ansatz zur Bewertung von Unsicherheiten in klassifizierten Fernerkundungsszenen vor, der nicht nur die Unsicherheiten in den klassifizierten Daten, sondern auch in den Referenzdaten („*ground truth*“) berücksichtigt.

2. FRAGESTELLUNG UND LÖSUNGSANSATZ

Die Extraktion von thematischen Informationen aus Fernerkundungsdaten ist mit einer Reihe von Unsicherheitseinflüssen verbunden (siehe Gahegan, Ehlers 2000), die parallel zum Modellierungsprozess (von der Szenenerfassung über die Klassifizierung bis hin zur Objektbildung) auftreten. Diese Fehlerquellen sind oft nicht mehr exakt quantifizierbar, weshalb in der Regel genäherte, summarische Verfahren zur Beschreibung der Klassifizierungsgüte angewendet werden (vgl. z.B. Congalton 1991).

Im Bereich der thematischen Auswertung hochauflösender Fernerkundungsdaten existieren inzwischen zwar automatisierte, regionenbasierte bzw. objektspezifische Verfahren und (z.B. fuzzy logic-) Klassifikatoren, bei der a posteriori Bewertung von Klassifikationsergebnissen muss jedoch aus folgenden Gründen konstatiert werden, dass eine hinreichende Anpassung noch nicht stattgefunden hat:

- Bei einem Vergleich zwischen einem Klassifikationsergebnis und einer Referenzklassifikation wird angenommen, dass Fehler ausschließlich in den zu bewertenden Daten vorliegen. Durch die Verfügbarkeit neuer, hochauflösender Bilddaten sind bei deren Auswertung Fehler in den Referenzdaten aufgrund einer schlechteren „*relativen Auflösung*“ nicht mehr vernachlässigbar, so dass ein integriertes Bewertungsverfahren notwendig ist, das die Qualität der Referenzdaten berücksichtigt.

- Durch höhere räumliche Auflösungen werden unscharfe Übergangsbereiche zwischen Objektklassen im Hinblick auf die absolute Anzahl der Pixel noch vergrößert. Diesem Effekt wird bei der thematischen Auswertung mit dem Einsatz von (fuzzy logic-) Klassifikatoren begegnet, jedoch finden entsprechende fuzzy logic-Bewertungsverfahren kaum Anwendung.
- Weiterhin basieren die meisten Bewertungsverfahren noch auf stichprobenartigen, punkt- bzw. pixelbasierten Vergleichen zwischen Referenzdaten und Klassifikationsergebnissen, d. h. es ist trotz regionenbasierter bzw. objektspezifischer Interpretation der Fernerkundungsszenen eine Entwicklung in Richtung von objektspezifischen Bewertungsverfahren notwendig.
- Ferner ist nach Zhang, Goodchild (2002) eine Einteilung von inhärent komplexen räumlichen Phänomenen in diskrete Klassen stark verknüpft mit einer Anwendungsabhängigkeit und Subjektivität von Klassenbeschreibungen - es entstehen vage Kategorien, z.B. die Einteilung in „Stadt“ vs. „Vorort“ oder die Eingruppierung in „starke Verschmutzung“ vs. „geringe Verschmutzung“ (Effekt der vagueness).

- Letztendlich ist nach Zhang, Goodchild (2002) festzuhalten, dass die beobachteten Daten oft für eine eindeutige Zuweisung zu den definierten Kategorien nicht geeignet sind.

Neben wahrscheinlichkeitsbasierten Ansätzen schlägt z.B. Chrisman (1992) die Modellierung von unscharfen Übergangsbereichen durch sogenannte ϵ -Bänder vor. Weiterhin wird in der Forschung zur Modellierung von Unschärfen häufig die fuzzy logic-Theorie eingesetzt. Dieses Konzept von variierenden Zugehörigkeiten zu einer Klasse für Klassifikationsaufgaben demonstrieren z.B. Fisher (2000) und Wang (1990). Aufbauend auf den Arbeiten von Schiewe, Ehlers (2007) und von Schiewe, Gähler (2008) liegt der Schwerpunkt des im CLAIM-Projekt entwickelten Konzepts auf der geometrisch-semantic begründeten Konstruktion von unscharfen Übergangszonen an den Objektgrenzen. Die Vorgehensweise hinsichtlich dieser Konstruktion wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

3. BERÜCKSICHTIGUNG VON UNSICHERHEITEN DURCH ÜBERGANGSZONEN

Im CLAIM-Konzept fungieren Übergangszonen als Modell eines weichen Grenzbereichs zwischen zwei klassifizierten Objekten.

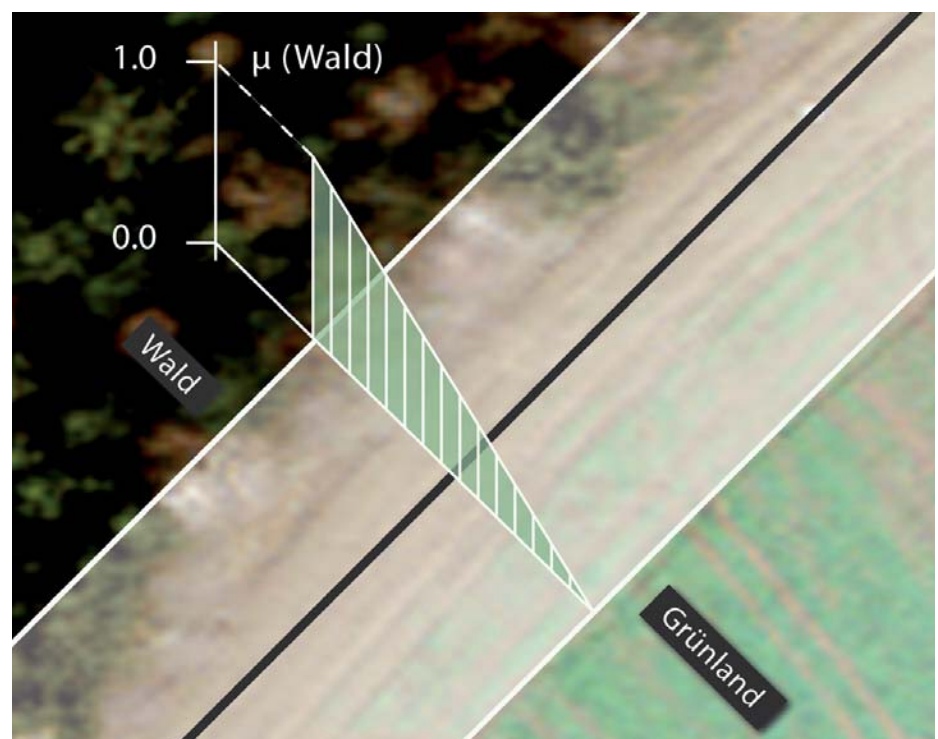


Abbildung 1: Pufferbildung um eine Objektgrenze und Definition der Zugehörigkeitsfunktion für die Klasse „Wald“

In einem ersten Schritt werden sowohl im Klassifizierungsergebnis als auch im Referenzdatensatz durch Pufferbildung symmetrische Grenzsäume erzeugt, die entlang jeder gegebenen Grenze zwischen den klassifizierten Objekten verlaufen (siehe Abschnitt 3.1). Die Wahl der Breite dieser Puffer ist dabei eine zentrale Frage und wird durch ein semantisches Modell unterstützt, welches unter 3.2 beschrieben ist. Abschnitt 3.3 stellt dar, wie auf Grundlage der weichen Grenzen ein Gütemaß berechnet werden kann, welches die Qualität des klassifizierten Datensatzes bewertet.

3.1 GEOMETRISCHE MODELLIERUNG

Zur Generierung der Geometrie für die Übergangsbereiche werden die Grenzen zwischen benachbarten Objekten mit einem beidseitigen, symmetrischen Puffer versehen (siehe Abb. 1). Dessen Breite ist klassenspezifisch und wird für jedes auftretende Paar von Objektklassen nach semantischen Kriterien definiert (siehe Abschnitt 3.2). Innerhalb der Übergangszone wird senkrecht zur Objektgrenze eine Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktion $\mu(c)$ angesetzt, die den Wert 1.0 (volle Zugehörigkeit zur betrachteten Klasse) am inneren Rand der Übergangszone und den Wert 0.0 (keine Zugehörigkeit) am äußeren Rand besitzt.

Für die Modellierung werden derzeit ausschließlich lineare Zugehörigkeitsfunktionen verwendet. Im Verlauf der Untersuchungen sollen ebenfalls nichtlineare Funktionen

zum Einsatz kommen. Denkbar ist dabei die Anwendung verschiedener Arten von Fuzzy-Funktionen zur Berücksichtigung von Besonderheiten im Grenzverlauf (Beispiel: anthropogene Klasse grenzt an naturnahe Klasse). Auf diese Weise können nahezu beliebige Grenzverläufe modelliert werden.

3.2 SEMANTISCHE MODELLIERUNG

Ein weiterer zentraler Aspekt des Konzepts ist ein semantisches Modell für die Nachbarschaft von Objekten, aus dem die Ausgestaltung der Übergangszonen abgeleitet werden kann. Die Basis dafür bildet die Annahme, dass anthropogen geprägte Strukturen, wie z.B. Straßen oder Gebäude, auf Grund der künstlichen Bauweise schärfere Grenzen und somit schmalere Übergangszonen besitzen als naturnahe Strukturen. Letztere hingegen sind tendenziell durch unschärfere Grenzen und breitere Grenzverläufe charakterisiert (Beispiel: Übergangsbereiche zwischen Waldgebiet und Ackerfläche in Abb. 1).

Ein denkbarer Ansatz zur qualitativen Differenzierung von Übergangszonenbreiten ist das aus dem Fachgebiet der Ökologie stammende Hemerobiesystem nach Jallas (1955), das von Sukopp (1972) weiterentwickelt worden ist. Im Ergebnis kann über dieses System nach „*Naturnähe*“ und „*Naturferne*“ differenziert werden, um anhand eines Natürlichkeitsgrades den Grad der menschlichen Prägung für einen Lebensraum bzw. eine Fläche einzuordnen.

Erste Ansätze, den relativ komplexen Indikator „*Hemerobie*“ (Grad der menschlichen Beeinflussung) mit Satellitenbilddaten zu verknüpfen, wurden z.B. im SINUS-Projekt in Österreich (Wrbka et al. 2003) entwickelt. Im Ergebnis wurden u.a. für die jeweils untersuchten Kulturlandschaften Landbedeckungsklassifikationen und der Hemerobiegrad für vorher definierte Flächen bzw. Landschaftstypen gegenübergestellt.

Basierend auf den genannten Forschungsergebnissen, Publikationen und eigenen Testreihen nutzen wir zur Herleitung von absoluten Breiten von Übergangszonen eine ordinale Einteilung, die angibt, welche Klasse welche relative Übergangszonenbreite besitzt (mehr hierzu in Schiewe et al. 2009). Da je nach Kombination der Klassen unterschiedliche Breiten vorkommen können (vgl. Golla et al. 2002), wurde und wird zur Generierung von Klassenkombinations-Matrizen diese qualitative Einordnung für typische Klassenkombinationen durch absolute Werte vervollständigt bzw. präzisiert. Hierzu wurden sowohl eine Literaturrecherche als auch eigene Messungen von Breiten der Übergangszonen für typische Klassenkombinationen vorgenommen. Tabelle 1 zeigt den aktuellen Stand, ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

Eine Dokumentation der Vorgehensweise zur Generierung von eigenen Mehrfachdigitalisierungen von Übergangszonen

Oberkategorie		Siedlung		Verkehr	Vegetation				Gewässer		
	Unterkategorie	Bebaute Fläche	Freifläche	Straße	Ackerland	Dauerkultur	Grünland	Heide	Wald, Forst	Feuchtbiotop	Gewässer
Siedlung	Bebaute Fläche	1,75 ^a	offen	1,24 ^a	4,00 ^c	offen	1,19 ^a	offen	3,14 ^a	offen	1,02 ^a
	Freifläche	offen	offen	1,45 ^d	4,00 ^c	offen	offen	offen	offen	offen	offen
Verkehr	Straße	1,24 ^a	1,45 ^d	1,45 ^d	1,66 ^a	1,45 ^d	1,45 ^d	1,45 ^d	1,34 ^a	1,45 ^d	1,45 ^d
Vegetation	Ackerland	4,00 ^c	4,00 ^c	1,66 ^a	offen	4,00 ^c	4,00 ^c	7,00 ^c	15,00 ^c	7,00 ^c	7,00 ^c
	Dauerkultur	offen	offen	1,45 ^d	4,00 ^c	offen	offen	offen	offen	offen	offen
	Grünland	1,19 ^a	offen	1,45 ^d	4,00 ^c	offen	offen	offen	2,34 ^a	offen	0,85 ^a
	Heide	offen	offen	1,45 ^d	7,00 ^c	offen	offen	offen	offen	offen	offen
	Wald, Forst	3,14 ^a	offen	1,34 ^a	15,00 ^c	offen	2,34 ^a	offen	offen	offen	3,29 ^a
Gewässer	Feuchtbiotop	offen	offen	1,45 ^d	7,00 ^c	offen	offen	offen	offen	offen	7,50 ^b
	Gewässer	1,02 ^a	offen	1,45 ^d	7,00 ^c	offen	0,85 ^a	offen	3,29 ^a	7,50 ^b	offen

Quellenangaben: a: eigene Messungen; b: Gähler & Schiewe (2009); c: Golla et al. (2002); d: Bundesverkehrsministerium (2009)

Tabelle 1: Zusammenstellung von Breitenangaben der Übergangszonen (Angaben in Metern, Klassen in Anlehnung an ATKIS-Objektklassen)

und Ableitung der Breiten kann bei Balde (2009) oder bei Edwards, Lowell (1996) gefunden werden. Eine allgemeingültige, quantitative Angabe absoluter Breiten von Übergangszonen ist unserer Meinung nach auf Grund einer Vielzahl von Einflussfaktoren schwierig und kann nur durch vielfache empirische Messungen begründet werden. Zwar existieren schon vereinzelt in der Ökologie Angaben zu absoluten Breiten von Säumen und Ökotonen für verschiedene Übergangszonen und Klassenkombinationen (Golla et al. 2002), jedoch ist eine Übertragbarkeit aufgrund von unterschiedlichen Auflösungen und radiometrischer Sensoreigenschaften nicht in jedem Fall ohne weiteres möglich. Im CLAIM-Projekt wird deshalb angestrebt, durch weitere umfangreiche empirische Testreihen wie z.B. Mehrfachdigitalisierungen von Übergangszonen und Ableitung von Breiten, eine quantitative Zuordnung für bestimmte Anwendungsfälle und die Angabe absoluter Breiten für hochauflösende Fernerkundungsdaten zu ermöglichen.

3.3 QUALITÄTSMAB CFCM

Auf Grundlage der modellierten Übergangszonen können nun flächendeckend die Zugehörigkeiten von Objekten zu den einzelnen Klassen bestimmt werden. Diese werden als μ_{REF} (Referenz) und μ_{CLASS} (Klassifikation) bezeichnet und nehmen außerhalb der Übergangszonen entweder den Wert 1.0 (Objekt gehört zur Klasse) oder 0.0 (Objekt gehört nicht zur Klasse) an. Innerhalb der Übergangszonen treten ebenfalls Klassenzugehörigkeiten zwischen 0.0 und 1.0 auf.

Nachdem die Klassenzugehörigkeiten flächendeckend ermittelt worden sind, kann auf Grundlage dieser Information das Sicherheitsmaß CFCM (class-specific fuzzy certainty measure) abgeleitet werden (siehe Formel 1).

Das Maß besitzt den Wertebereich [0.0, 1.0] und drückt die Übereinstimmung zwischen der Klassifikation und den Referenzdaten aus: Je größer der resultierende CFCM-Wert für eine Klasse ist, desto größer wird die Koinzidenz zwischen den

Objekten der Klasse im Referenz-Datensatz und in der Klassifikation eingeschätzt.

4. SENSITIVITÄTSANALYSE

Der nächste Schritt in den Untersuchungen besteht in einer Sensitivitätsanalyse des Gütemaßes CFCM. Um eine solche Betrachtung durchführen zu können, sind unterschiedliche, synthetische Testszenarien definiert worden. Diese repräsentieren verschiedene Objektkonstellationen, die sich beispielsweise hinsichtlich der Nachbarschaft (zwei Objekte, mehrere Objekte), der Objektgestalt (Kompaktheit) oder der Grenzgestalt (regelmäßig, unregelmäßig) unterscheiden. Auf diese Weise wird eine breite Abdeckung typischer Objekt-Konstellationen erreicht. Für jeden dieser Testfälle werden Übergangszonen mit unterschiedlicher Breite angesetzt, das Sicherheitsmaß pro Klasse berechnet und mit konventionellen Gütemaßen verglichen.

Abbildung 2 zeigt ein Testszenario mit zwei Klassen: Das Objekt der Klasse A ist in der Klassifikation (durchgezogener Rand) gegenüber der Referenz (gestrichelter Rand) versetzt. Rechts: Beispiel für die Pufferung des Objekts A in den Referenzdaten.

$$CFCM(c) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\mu_{i,REF}(c) - \mu_{i,CLASS}(c)|$$

$$\forall i | \mu_{i,REF} > 0 \vee \mu_{i,CLASS} > 0$$

$\mu_{REF}(c)$: Klassenzugehörigkeitswert einer Region für Klasse c in Referenzdaten

$\mu_{CLASS}(c)$: Klassenzugehörigkeitswert einer Region für Klasse c im Klassifikationsergebnis

n : Anzahl Regionen in der Untersuchung

Formel 1

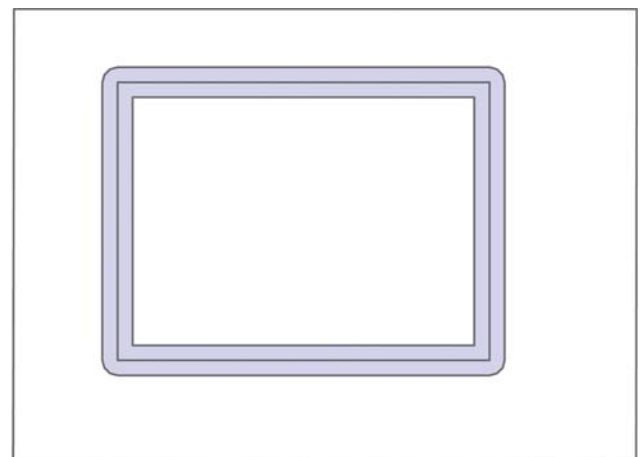
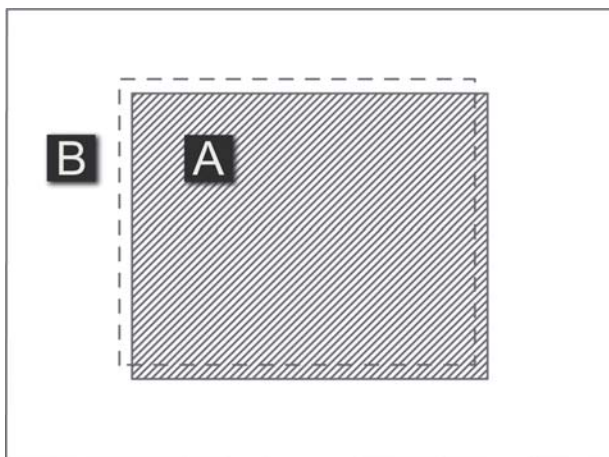


Abb. 2: Synthetisches Testszenario mit zwei Klassen: Das Objekt der Klasse A ist in der Klassifikation (durchgezogener Rand) gegenüber der Referenz (gestrichelter Rand) versetzt. Rechts: Beispiel für die Pufferung des Objekts A in den Referenzdaten.

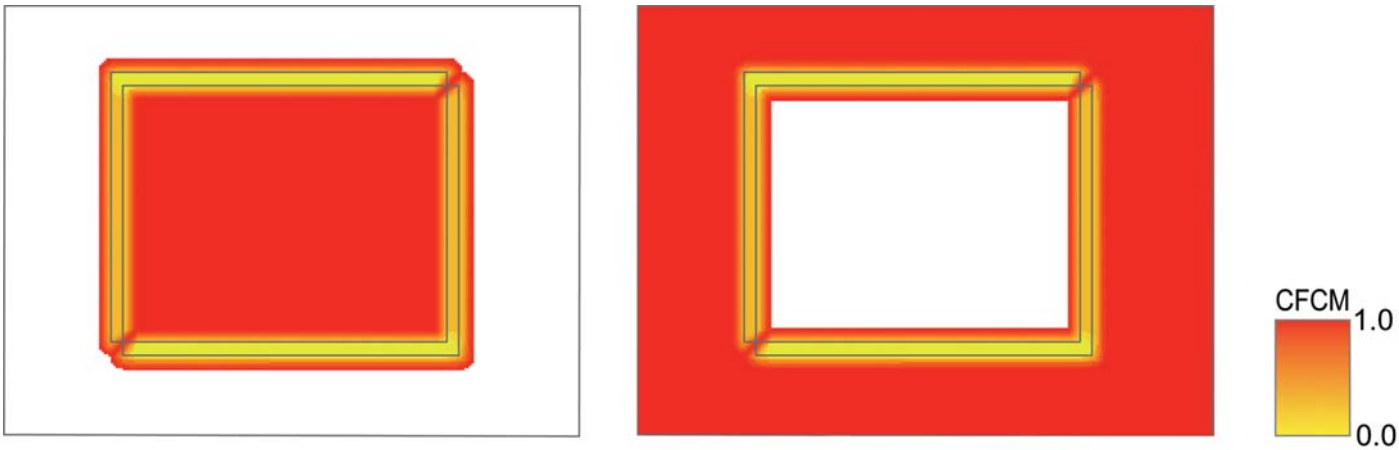


Abb. 3: Synthetisches Testszenario mit zwei Klassen: Das Objekt der Klasse A ist in der Klassifikation (durchgezogener Rand) gegenüber der Referenz (gestrichelter Rand) versetzt. Rechts: Beispiel für die Pufferung des Objekts A in den Referenzdaten.

gleich zur Referenz nach rechts unten verschoben ist. Um die Auswirkungen verschiedener Pufferbreiten auf das CFCM zu untersuchen, wurden fünf verschiedene Pufferbreiten (vgl. Tabelle 3) getestet. Diese sind willkürlich in Relation zueinander definiert worden und besitzen keine Längeneinheit.

Tabelle 2 enthält das Ergebnis einer Qualitätsbewertung ohne Berücksichtigung von Unschärfe. Es setzt die Fläche der Übereinstimmung zwischen Referenz und Klassifikation ins Verhältnis zur Gesamtfläche einer Klasse. In Tabelle 3 sind die Resultate der Bewertung durch das CFCM für die fünf angesetzten Breiten zusammengefasst. In Abbildung 3 ist das Ergebnis des Testfalls als Verteilung des CFCM für die Puffergröße 0,03 beispielhaft dargestellt. Gut sichtbar sind darin die weichen Übergänge von 0.0 zu 1.0 im Bereich der verschobenen Grenze.

Aus den Ergebnissen in Tabelle 3 ist zu erkennen, dass mit der Erhöhung der Breite

der Übergangszone der Wert des CFCM für beide untersuchten Klassen ansteigt. Dieser Effekt ist dadurch zu erklären, dass mit zunehmender Grenzbreite der nicht übereinstimmende Bereich weniger stark gewichtet wird. Dies hat zur Folge, dass die Art der Klassenkombination das Ergebnis beeinflusst, da sie unterschiedliche Pufferbreiten zur Folge hat. Die „overall thematic accuracy“ hingegen liefert stets denselben Wert unabhängig davon, welche Klassen A und B repräsentieren und welche Art von Grenzverlauf vorliegt. An diesem einfachen Beispiel zeigt sich damit bereits eine wichtige Eigenschaft der Methode. Die geplante Auswertung weiterer Testszenarien soll die Sensitivitätsanalyse sukzessive vervollständigen.

5. AUSBLICK

Nachdem der Schwerpunkt der aktuellen Arbeiten auf der erstmaligen Vorstellung einer exemplarischen Sensitivitätsanalyse des Gütemaßes CFCM lag, werden in

Zukunft weitere Testreihen zur quantitativen Bestimmung der Übergangszonen-Breiten an synthetischen und realen Fernerkundungsdaten durchgeführt werden. Darüber hinaus soll durch die Integration von weiteren Messungen die begonnene Definition von Klassenbreiten (Tabelle 1) vervollständigt werden, um für typische Klassenkataloge (z.B. ATKIS) quantitative Grenzbreiten liefern zu können. Ein weiteres Ziel der zukünftigen Arbeiten ist die Bereitstellung einer operationell einsetzbaren Software zur Bewertung der Unsicherheiten mit der in diesem Artikel vorgestellten Methode.

6. DANKSAGUNGEN

Die Ergebnisse dieses Beitrages sind im Rahmen des Projektes „Entwicklung einer integrierten, fuzzy logic- und objektspezifischen Methode zur a posteriori Bewertung von Klassifikationsergebnissen (CLAIM)“ entstanden, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird.

Klasse	
A	91,61%
B	95,14%

◀◻Tabelle 2: „Overall thematic accuracy“ (ohne Übergangszonen)

Klasse \ Breite	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
A	85,56%	86,19%	86,96%	87,66%	88,32%
B	91,02%	91,29%	91,55%	91,80%	92,04%

▽◻Tabelle 3: CFCM mit unterschiedlichen (relativen) Pufferbreiten.

Literatur

- Balde, M. (2009): Empirische Untersuchungen zur Unschärfe von Objektgrenzen in Fernerkundungsbildern. Bachelorarbeit. HafenCity Universität Hamburg.
- Bundesverkehrsministerium (2009): Richtlinie für die Anlage von Straßen - Querschnitt (RAS-Q).
- Chrisman, N.R. (1982): A Theory of Cartographic Error and Its Measurement in Digital Databases. *AUTOCARTO 5*, S. 159-168.
- Congalton, R. (1991): A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37, S. 35-46.
- Edwards, G.; Lowell, K. E. (1996): Modeling Uncertainty in Photointerpreted Boundaries. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 62(4), S. 337-391.
- Fisher, P. (2000): Sorites paradox and vague geographies. *Fuzzy Sets and Systems* 113, S. 7-18.
- Gähler, M.; Schiewe, J. (2006): Aussagekraft von Angaben der Klassifikationsgüte zur Beurteilung thematischer Auswertungen höchstauflösender Fernerkundungsdaten. In: Strobl, J.; Blaschke, T.; Griesebner, G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XVIII*, Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2006, S. 177-182.
- Gahegan, M.; Ehlers, M. (2000): A Framework for Modeling of Uncertainty in an Integrated Geographic Information System. *ISPRS Journal of Photogrammetry & RS* 55, S. 176-188.
- Golla, B.; Enzian, S.; Jüttersonke, B.; Gutsche, V. (2002): Entwicklung und Testung eines GIS-gestützten Verfahrens zur Erstellung thematischer Risikokarten als Grundlage für die Differenzierung von Anwendungsbestimmungen zum Schutz des Naturhaushaltes beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln - Forschungsbericht 201 63 410. Berlin: Umweltbundesamt, S. 157
- Jalas, J. (1955): Hemerobe und hemerochrome Pflanzenarten. Ein terminologischer Reformversuch. *Acta Soc. Flora Fauna Fennica* 72, S. 1-15.
- Schiewe, J.; Ehlers, M. (2007): Fuzzy models for handling uncertainty in the integration of high resolution remotely sensed data and GIS. In: Morris, A.; Kokhan, S. (Hrsg.): *Uncertainty in Environmental Security (NATO-Workshop, Kiew)*, S. 89-106.
- Schiewe, J.; Ehlers, M.; Kinkeldey, C.; Tomowski, D. (2009): Modellierung von Unsicherheiten in klassifizierten, räumlich hoch aufgelösten Fernerkundungsszenen. In: Seyfert, E.: *Tagungsband - Vorträge 29. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF*, 24.-26. März, Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung 18, S. 93-100.
- Schiewe, J.; Gähler, M. (2008): Modeling uncertainty in high resolution remotely sensed scenes using a fuzzy logic approach. In: Blaschke, T.; Lang, S.; Hay, G. (Hrsg.): *Object-Based Image Analysis Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, S. 755-768.
- Sukopp, H. (1972): Wandel von Flora und Vegetation in Mitteleuropa unter dem Einfluß des Menschen. *Berichte über Landwirtschaft* 50, S. 112-139.
- Wang, F. (1990): Improving Remote Sensing Image Analysis through Fuzzy Information Representation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 56(8), S. 1163-1169.
- Wrbka, T. et al. (2003): Landschaftsökologische Strukturmerkmale als Indikatoren der Nachhaltigkeit, Endbericht des Forschungsprojektes "SINUS". Wien: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur (CD-ROM).
- Zhang, J.; Goodchild, M. (2002): Uncertainty in Geographical Information. New York: Taylor & Francis, S. 266

IMPRESSUM // PUBLICATION INFORMATION:

GIS.SCIENCE – Die Zeitschrift für Geoinformatik ISSN 1430–3663 // Herausgeber: Dirk Schmidbauer // Redaktion: Dr.-Ing. Lutz Kreßner, lutz.kressner@abcverlag.de, Tel. +49(0)0381498-3211, Fax +49(0)0381498-3202 // Hauptschriftleiter: Prof. Dr.-Ing. Ralf Bill, ralf.bill@uni-rostock.de, Tel. +49(0)0381498-3200, Fax +49(0)0381498-3202 // Editorial-Board: Prof. Dr. Lars Bernard, TU Dresden; Dr. Andreas Donaubauer, ETH Zürich; Prof. Dr. Max Egenhofer, University of Maine Orono; Prof. Dr. Manfred Ehlers, Universität Osnabrück; Prof. Dr. Klaus Greve, Universität Bonn; Dr. Stefan Lang, Universität Salzburg; Prof. Dr. Stephan Nebiker, Fachhochschule Nordwestschweiz; Prof. Dr. Matthäus Schilcher, TU München; Prof. Dr. Josef Strobl, Universität Salzburg // Kontakt Redaktion Rostock: +49(0)0381498-3211, lutz.kressner@abcverlag.de | Konzeption und Layout: Dipl. Des. Birgit Speiser // Anzeigen: Matthias Knecht, matthias.knecht@abcverlag.de, +49(0)06221/75704-105 // Leserservice: Ingrid Gimbel, ingrid.gimbel@abcverlag.de, +49(0)06221/75704-100 // GIS.SCIENCE erscheint im abcverlag GmbH, Waldhofer Str. 19, 69123 Heidelberg, Tel. +49(0)6221/75704-100, Fax +49(0)6221/75704-109, info@abcverlag.de // Geschäftsführung: Dirk Schmidbauer, HRB 337388, UstID: DE 227 235 728 // Druck: abcdruck, Heidelberg // Erscheinungsweise: 12 x jährlich, davon 4 Ausgaben GIS.SCIENCE plus 2 Sonderthemenhefte GIS.TRENDS+MARKETS // Jahresabonnement (12 Hefte): Inland 157,25 EUR inkl. Versandkosten, Ausland 166 EUR inkl. Versandkosten, Studenten/Auszubildende 89,- EUR inkl. Versandkosten, Mitglieder des Deutschen Dachverbandes für Geoinformation e.V. (DDGI) erhalten das Abo im Rahmen ihrer Mitgliedschaft // Bezugszeitraum: Das Abonnement läuft zunächst für 12 Monate. Zum Ablauf des ersten Bezugsjahres kann das Abonnement zum Ende des Kalenderjahres mit einer Kündigungsfrist von 3 Monaten gekündigt werden. Bei Nichterscheinen aus technischen Gründen oder höherer Gewalt entsteht kein Anspruch auf Ersatz. // Alle in GIS.BUSINESS und GIS.SCIENCE und GIS.TRENDS+MARKETS erscheinenden Beiträge, Abbildungen und Fotos sind urheberrechtlich geschützt. Reproduktion, gleich welcher Art, kann nur nach schriftlicher Genehmigung des Verlags erfolgen. © 2009 abcverlag GmbH, Heidelberg