

Automatisierte Ableitung von Biotoptypen aus räumlich höchst aufgelösten, multispektralen Bild- und Laserscanning-Daten

MONIKA GÄHLER, RONALD JANOWSKY & JOCHEN SCHIEWE, Osnabrück

Keywords: high resolution sensors, classification, Biotope type mapping, laserscanning

Zusammenfassung: Während die Sensorik zur Erfassung von höchst aufgelösten und multisensorellen Daten zur Verfügung steht, fehlen noch geeignete neue Konzepte und entsprechende Algorithmen, die eine möglichst effektive, bearbeiterunabhängige und reproduzierbare Auswertung durch automatisierte Klassifikationsverfahren garantieren. Dieser Artikel stellt die Ergebnisse von Projekten zur automatisierten Ableitung von Biotoptypen aus flugzeuggestützten, räumlich höchst aufgelösten und multispektralen Bilddaten (HRSC-AX) sowie der kombinierten Nutzung von HRSC-AX- und Laserscanning-Daten vor. Neben der Beschreibung von entwickelten, angepassten Verfahren zur Ableitung und Verarbeitung signifikanter Merkmale aus Bild- und Laserscanning-Daten erfolgt eine Abschätzung des Potenzials und möglicher Hemmnisse der Kombination dieser Datenquellen.

Summary: *Automated extraction of biotope types from spatially highest resolution and multispectral image and laser scanning data.* While the sensor technology for the acquisition of spatially highest resolution and multispectral data is available, suitable concepts and algorithms are still missing that guarantee for an effective, user independent and reproducible automated interpretation process. This contribution will present results of various projects dealing with the automated extraction of biotope types from airborne, spatially highest resolution and multispectral imagery from the HRSC-AX sensor and from laser scanning data. After describing the developed methods for the extraction and processing of significant features from image and laser scanning data an estimation of the potential and of possible restraints with the combination of these data sources will be given.

1 Einleitung

Durch natürliche Entwicklungsprozesse und anthropogene Eingriffe unterliegen Landschaftsräume permanenten Veränderungen. Dementsprechend ist eine fortlaufende Überprüfung und Aktualisierung des Zustandes erforderlich. Zudem kann eine Fortschreibung die Veränderungsprozesse innerhalb der Landschaft aufzeigen, wodurch wichtige Erkenntnisse für Natur- und Landschaftsschutzplanungen geliefert werden können. Folglich ist eine kontinuierliche Beobachtung (Monitoring) von Biotoptypen sinnvoll und notwendig (SEILER et al. 2004).

Mit Hilfe konventioneller Methoden der Biotoptypenerfassung, wie der terrestrischen Kartierung oder der visuellen Interpretation von analogen CIR-Luftbildern, sind fortlaufende Aktualisierungen nur unzureichend realisierbar (BfG, 2000). Zum einen steht der hohe Zeit- und Kostenaufwand dieser etablierten Verfahren einer Durchführung in kurzen Zeitintervallen entgegen. Andererseits ist mit den bisherigen Methoden der Datenaufnahme bzw. -verarbeitung eine notwendige exakte Vergleichbarkeit der Datenbestände nicht gewährleistet. Subjektivität bei der Auswertung, Generalisierungen sowie eine hohe Fehlertoleranz bezüglich der räumlichen Abgrenzung

der Biotoptypen führen dazu, dass Veränderungen der Landschaftsausstattung nur eingeschränkt zu identifizieren sind.

Die Verfügbarkeit neuer flugzeuggetragener Sensoren (z. B. DMC, ADS 40, HRSC-AX, Ultracam-D), die digitale Bilddaten höchster räumlicher Auflösung liefern, stellen in Kombination mit geeigneten Auswerteverfahren einen möglichen Lösungsansatz zur Überwindung der genannten Unzulänglichkeiten bei der Erfassung und regelmäßigen Aktualisierung des Ist-Zustandes der Landschaft dar. Zurückzuführen ist dies nicht nur auf die digitale Datenaufnahme und den damit verbundenen potenziellen digitalen Datenfluss, sondern insbesondere auf die multispektralen Eigenschaften sowie eine verbesserte radiometrische Auflösung (siehe hierzu auch SCHIEWE & EHLERS 2004, in diesem Heft).

Darüber hinaus können zusätzlich zu den Bilddaten Digitale Oberflächenmodelle aus stereoskopischen Aufnahmen automatisiert abgeleitet werden. Eine alternative Methode zur Herstellung von Höhendaten ist der Einsatz von Laserscanning-Systemen. Inzwischen existieren auch Sensorsysteme, die simultane Aufnahmen von Laserscanning- und multispektralen Bilddaten erzeugen können (z. B. FALCON, ALTM/DSS oder ALS50/ADS40, vgl. SCHIEWE & EHLERS 2004). Durch diese Multisensorsysteme wird das Potenzial zur Auswertung und Nutzung von Fernerkundungsdaten in einem Geoinformationssystem (GIS) weiter erhöht.

Während die Sensorik zur Erfassung der hoch aufgelösten und multisensoralen Daten nun zur Verfügung steht, fehlen aber noch geeignete Konzepte und entsprechende Auswertelgorithmen zu deren Auswertung (BLASCHKE & STROBL 2001). Aus diesem Defizit wurden diverse Projekte zur automatisierten Auswertung räumlich höchstauflösender Daten durchgeführt. Projektziele waren die hochgenaue Erfassung und das langfristige Monitoring von Biotoptypen und ihren Veränderungen in den Uferandbereichen der tidebeeinflussten Unterläufen von Elbe und Weser sowie deren Nebenflüsse infolge von Ausbaumaßnahmen. Hierfür konnte basierend auf HRSC-AX-Daten ein

hierarchisches Klassifikationsverfahren entwickelt werden, das eine indexbasierte Segmentierung und Vorklassifikation sowie eine GIS-basierte Postklassifikation beinhaltet und zu großen Teilen in automatisierte Abläufe überführt werden konnte. Darüber hinaus wurde der Mehrwert einer kombinierten Nutzung von flugzeuggestützten, hochaufgelösten multispektralen Bilddaten und Laserscanning-Daten zur Biotoptypenklassifikation sowie die Möglichkeiten einer integrativen Auswertestrategie untersucht. Nach einer kurzen Beschreibung der Datengrundlage (Abschnitt 2) werden im Folgenden die in den Projekten entwickelten Methoden (Abschnitt 3) sowie die erzielten Ergebnisse und Genauigkeiten (Abschnitt 4) erläutert.

2 Datengrundlage

Im Rahmen der hier vorgestellten Biotoptypenmonitoring-Vorhaben wurden Daten des digitalen Stereoscanners HRSC-A bzw. der neueren Kameraversion HRSC-AX (NEUKUM et al. 2001) verwendet. Die Wahl des Sensors erfolgte aufgrund der zum Projektstart im Jahr 2000 konkurrenzlosen geometrischen und radiometrischen Eigenschaften der erzeugten Bilddaten. In die Auswertung wird ein kompletter HRSC-Datensatz, bestehend aus einem panchromatischen Nadirkanal und vier Farbbändern (Blau, Grün, Rot und Infrarot) sowie einem Digitalen Oberflächenmodell (DOM), eingeführt. Für den effektiven Einsatz bei den großflächigen Untersuchungsgebieten unter Beibehaltung höchstmöglicher geometrischer Genauigkeit wurden die Bilddaten mit einer Bodenpixelgröße von 25 cm bzw. 32 cm (Bilddaten) bzw. 1 m (DOM) aus einer Flughöhe von 3000 m bis 6000 m erhoben. Als absolute Genauigkeiten sind ± 20 cm in horizontaler und ± 30 cm in vertikaler Richtung seitens des Datenlieferanten angegeben.

Weiterhin wurden für ein Gebiet von etwa 65 km² im Rahmen eines Pilotprojektes zur kombinierten Datenauswertung Laserscanning-Daten des Systems ALTM 1225 (Fa. Optech) in den Auswerteprozess aufgenom-

men. Nahezu gleichzeitig zu den HRSC-AX-Bilddaten (d. h. 14 Tage früher im August 2002) wurden Höhen- und Intensitätsdaten des Laserscanning-Systems in 10 überlappenden Streifen bei einer Flughöhe von 1200 m aufgezeichnet, sodass eine durchschnittliche Punktdichte von 1 Punkt/m² erzielt werden konnte. Seitens des Datenlieferanten erfolgte sowohl die Georeferenzierung der Daten, als auch die thematische Klassifizierung (u. a. in die Klassen „Grund mit Wasserflächen“, „Oberflächen“ und „Sonstige Punkte – insbesondere Vegetation“) durch Verwendung spezieller Filteralgorithmen.

3 Methodik zur automatisierten Ableitung von Biotoptypen

Für eine automatische Biotoptypenklassifikation aus höchstauflösenden HRSC-Daten

wurde ein hierarchisches GIS-basiertes Klassifikationsverfahren entwickelt, das in Abschnitt 3.1 erläutert wird. Inwieweit durch die Integration zusätzlicher Höhen- und Intensitätswerte, die durch flugzeuggestütztes Laserscanning aufgezeichnet worden sind, ein Mehrwert für den Klassifizierungsprozess erzielt werden kann, wird anschließend in Abschnitt 3.2 dargelegt.

3.1 Hierarchisches Klassifikationsverfahren auf Basis von HRSC-Daten

Das hierarchische, GIS-basierte Verfahren zur automatischen Biotoptypen-Klassifikation aus HRSC-Daten basiert auf umfangreichen Klassifikations-Versuchen und Fehleranalysen bzw. der Prüfung einer Anzahl von Alternativen bei der Verarbeitung (EHLERS et al. 2000, GÄHLER 2000). Die entwi-

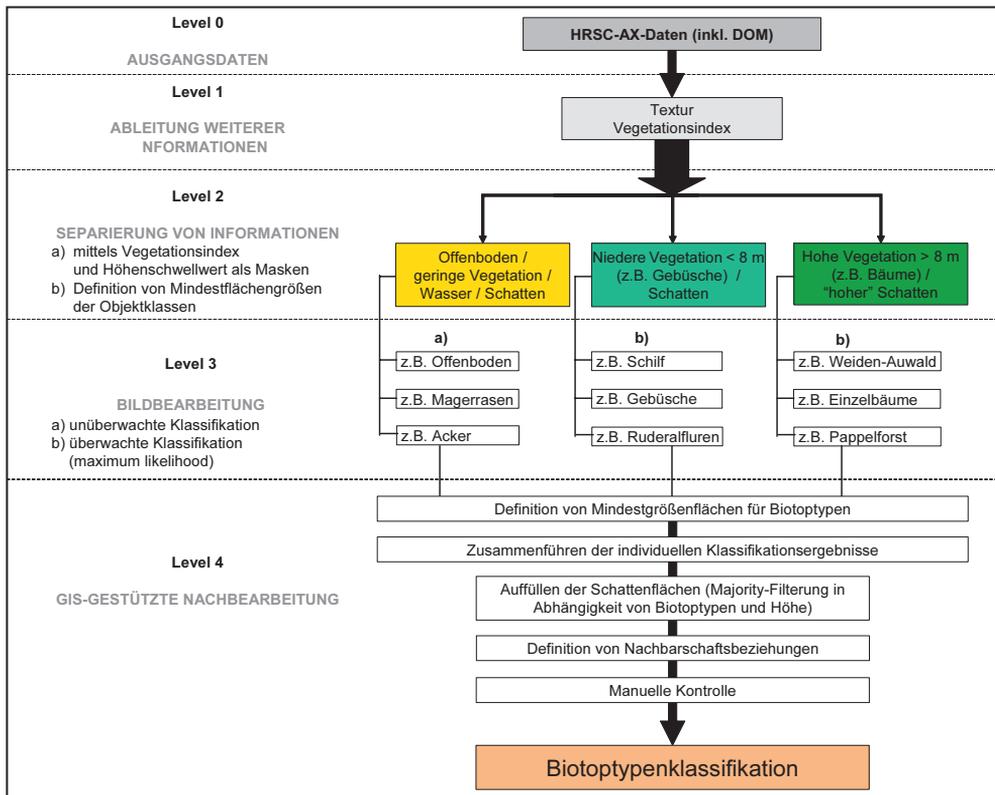


Abb. 1: Flussdiagramm des entwickelten hierarchischen Klassifikationsablaufes auf Basis von HRSC-AX.

ckelte Methode gliedert sich in vier Bearbeitungslevel (vgl. Abb. 1), die nachfolgend beschreiben werden. Weitere Details geben auch EHLERS et al. (2003), GÄHLER & JANOWSKY (2003) sowie GÄHLER et al. (2001).

3.1.1 Level 1: Ableitung weiterer Informationen

Die HRSC-Datenprodukte, d.h. die vier multispektralen Bänder und der panchromatische Nadirkanal, sowie das Digitale Oberflächenmodell (DOM) werden im Level 1 um zwei weitere Bänder, die ein Texturmaß (Varianzfilterung auf der Basis eines kantenverstärkten panchromatischen Bildes) und einen Vegetationsindex (NDVI) repräsentieren, angereichert und zu einem Mehrkanalbild zusammengefügt. Insbesondere die Einbeziehung des Texturmaßes erweist sich bei der Klassifikation (vgl. Abschnitt 3.1.3) zur Unterscheidung von Biotop- und Nutzungstypen mit sehr glatter Oberfläche (wie Wasser oder Mähgrünland) gegenüber solchen mit sehr rauer Struktur (wie Röhricht oder Gebüsch) als sinnvoll.

3.1.2 Level 2: Separierung von Informationen

Diese erweiterten Eingangsdaten können in Level 2 index- bzw. schwellwertbasiert in mehrere semantische Layer getrennt werden: Der berechnete Vegetationsindex NDVI ermöglicht die Trennung von Vegeta-

tion und Nicht-Vegetation. Weiterhin kann zwischen hoher und niedriger Vegetation mittels eines Hörschwellwertes unter Verwendung des DOM differenziert werden. Als Ergebnis der Trennung resultieren die Informationsbestände:

- „Nicht-Vegetation“ (Wasser, Offenboden, geringe Vegetation),
- „Niedrigwüchsige Vegetation“ und
- „Hochwüchsige Vegetation“

Durch die hohe räumliche Auflösung der HRSC-AX-Daten und der pixelorientierten Arbeitsweise werden bei der Trennung der Informationen auch sehr kleine Flächen identifiziert. Diese stellen allerdings nicht unbedingt Instanzen der gewünschten Objektklassen dar und sind daher für die Weiterverarbeitung nicht erwünscht. Daher ist eine Definition von Mindestflächengrößen für die unterschiedlichen semantischen Klassen vor der Trennung der Informationsschichten sinnvoll. Hierfür werden Werte von 40 m² für die niedrigen und hohen Vegetationsbestände sowie 70 m² für die Nicht-Vegetationsbereiche festgesetzt. Die resultierenden Mehrbandbilder (vgl. Abb. 2) können dann anschließend jeweils separat im Level 3 mit Klassifikationsalgorithmen weiterverarbeitet werden.

3.1.3 Level 3: Bildanalyse

Für die weitere Differenzierung der niedrigen und hohen Vegetation findet im Bearbei-

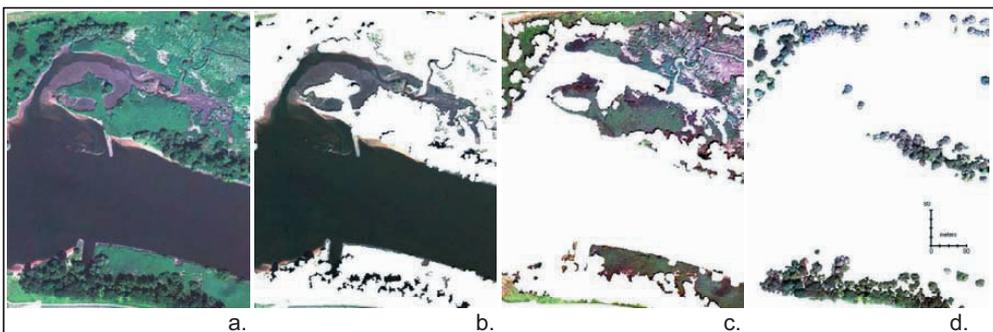


Abb. 2: Trennung der Informationen mit Hilfe des Vegetationsindex NDVI als Maske und eines Hörschwellwertes [a.: Gesamtbild – b: Nicht-Vegetation – c: niedrige Vegetation (< 10 m) – d: hohe Vegetation].

tungslevel 3 unter Verwendung von Trainingsgebieten eine überwachte Klassifizierung (Maximum-Likelihood-Methode) statt. Die weitere Klassifikation der Nicht-Vegetation kann hingegen mit unüberwachten Klassifikatoren (Isodata Clustering) vollzogen werden.

3.1.4 Level 4: GIS-basierte Nachbearbeitung

Level 4 beinhaltet eine GIS-basierte Nachbearbeitung zur Erstellung des endgültigen Klassifikationsergebnisses. Durch die hohe räumliche Auflösung der HRSC-A/HRSC-AX-Daten wird eine Zuweisung von Mindestflächengrößen in Abhängigkeit zum Biotoptyp notwendig. Bei der Zusammenführung der einzelnen Klassifikations-Ergebnisse zu einem Ergebnislayer werden daher Mindestflächengrößen für jeden Biotoptyp definiert (z. B. für geschlossene Baumbestände: 200 m²) und eine zusätzlich definierte Prioritätenliste beachtet.

Anschließend ist durch die Verwendung einer Filtermatrix ein Auffüllen der Schattenbereiche möglich. Allerdings werden durch die Glättung auch die Grenzen zwischen unterschiedlichen Biotoptypen verfälscht. Um die Verzerrung der Grenzbereiche zu minimieren, wurden unter Verwendung des DOM die Schatten in zwei Klassen unterteilt (höher oder niedriger als 10 m). Bei der anschließenden Majority-Filterung werden Schatten, die höher als 10 m sind, nur mit benachbarten Biotoptypenklassen der „hohen Vegetation“ aufgefüllt. Die Schattenbereiche, die niedriger als 10 m sind, werden demzufolge nur mit angrenzenden Biotoptypen „niedriger Vegetation“ ersetzt.

In einem weiteren Arbeitsschritt werden Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den einzelnen Biotoptypen berücksichtigt. Hierbei wird beispielsweise eine Straße, die zwischen zwei Wasserobjekten liegt, als Brücke definiert. Zur Sicherstellung der Ergebnisgüte werden die Klassifikations-Ergebnisse anschließend noch einer manuellen Nachbearbeitung unterzogen, u. a. um einzelne Fehlklassifikationen zu eliminieren oder

weitere inhaltliche Unterscheidungen zwischen bestimmten Biotoptypen (z. B. Schilf-Landröhricht und tidebeeinflusstem Schilf-Röhricht) vorzunehmen.

3.1.5 Standardisierung

Um diesen hierarchischen Klassifikationsablauf zu standardisieren und zu automatisieren, wurde mit dem ERDAS IMAGINE® Modul „Spatial Modeler“ gearbeitet. Hiermit steht ein Instrument zur Verfügung, mit dessen Hilfe in einem so genannten Modell eine bestimmte Abfolge von verschiedenen und modifizierten ERDAS IMAGINE®-Funktionen definiert werden kann. Diese Modelle wurden inzwischen in die ERDAS IMAGINE®-Oberfläche als eigenes Modul integriert. Eine Übertragung des Verfahrens auf Bilddaten unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte konnte erfolgreich durchgeführt werden.

3.2 Kombinierte Auswertung von Bild- und Laserscanning-Daten

3.2.1 Interpolation der Laserscanning-Daten

Für integrierte Auswertung der HRSC-Bilddaten zusammen mit den Höhen- und Intensitätsdaten aus dem Laserscanning, die originär als unregelmäßig verteilte Punktwolken vorliegen, erfolgt im ersten Schritt eine Transformation in ein hochaufgelöstes Raster mit einer Pixelgröße von 25 cm. Zur weiteren Auswertung bzw. Ableitung von Höhen- bzw. Intensitätsmerkmalen werden aus den Höhendaten ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) und ein Digitales Geländemodell (DGM) mittels 3 × 3-Maximum- bzw. 3 × 3-Minimum-Filterung interpoliert. Aus DOM und DGM werden anschließend durch Subtraktion Objekthöhen bzw. ein normalisiertes DOM (nDOM) berechnet (Abb. 3). Die aufgezeichneten Intensitätswerte werden ebenfalls durch eine Interpolation (21 × 21-Mittelwert-Filterung) in ein Raster überführt.

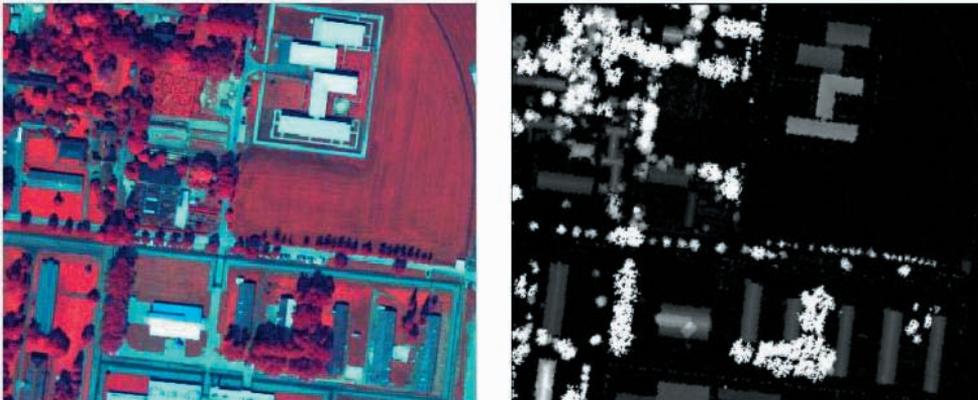


Abb. 3: Bildausschnitt CIR (links) und aus Laserscanning-Daten abgeleitetes nDOM (rechts).

3.2.2 Ableitung und Selektion von Merkmalen aus Laserdaten

Aus den Höhen- und Intensitätsdaten können neben den absoluten Werten zusätzliche Merkmale wie z. B. Gradienten, Krümmungen, Texturen und Aspekte zur Informationsgewinnung abgeleitet werden. Vor dem Hintergrund einer Biotoptypen-Klassifikation wurde die Objektklassen-spezifische Signifikanz aller Merkmale durch eine visuelle Interpretation sowie durch die Bestimmung und Bewertung von statistischen Kennwerten abgeschätzt und interpretiert.

Abgeleitete Höhenmerkmale sind erwartungsgemäß für „hohe“ Biotoptypen sinnvoll einsetzbar. Insbesondere das nDOM, das die absoluten Objekthöhen beinhaltet, kann eine sehr genaue Unterscheidung von Biotoptypen für eine Klassifikation leisten. Die abgeleiteten Höhentexturen (3×3 -Kantenfilterung mit anschließender 3×3 -Varianzfilterung) bieten ebenfalls eindeutige Merkmale für bestimmte Objekttypen wie z. B. zur Unterscheidung von Gebäuden (z. B. Flachdach und Giebeldach), oder der Erkennung komplexer Strukturen (z. B. Obstplantagen). Darüber hinaus bietet eine Kombination der Höhenmerkmale mit spektralen Informationen bzw. das Verhältnis der Höhenmerkmale zueinander eine weitere Option zur Klassifikation.

Auch die Laserintensitätsdaten wurden zur Abschätzung des Potenzials für die

nachfolgende Klassifizierung eingehend untersucht. Die dabei erzielten Resultate können jedoch nur als sehr eingeschränkt als Unterstützung für die Klassifikation beurteilt werden. Zurückzuführen ist dies insbesondere auf den hohen Rauschanteil, die unsicheren Erfassungs- und Korrekturverhältnisse sowie die relativ geringe radiometrische Auflösung der Ausgangsdaten. Auf eine weitere Einbindung der Intensitätsdaten wurde daher verzichtet.

3.2.3 Erweiterung des Klassifikationsalgorithmus und Vergleich der Klassifizierungsergebnisse

Die Einbindung der zusätzlichen Höhenmerkmale in den in Abschnitt 3.1 beschriebenen Klassifikationsalgorithmus erfolgte nach einer Erprobung unterschiedlicher Varianten, die zu folgendem Vorgehen führte: In einem ersten Schritt wird der schon vorliegende Datenbestand, der aus den Kanälen Blau, Grün, Rot, Nahes Infrarot, Pan, DOM, NDVI und Textur besteht, um das nDOM und die Höhentexturen ergänzt. Durch die Kombination der Merkmale der absoluten Objekthöhe, des NDVI, der Höhentextur sowie einer Mindestflächengröße (40 m^2) kann eine genaue Detektion von hohen Vegetationsbeständen, sonstigen hohen Objekten (z. B. Gebäude), niedriger Vegetation sowie niedriger Nicht-Vegetation (z. B. offener Boden, Wasserbereiche) erzielt wer-

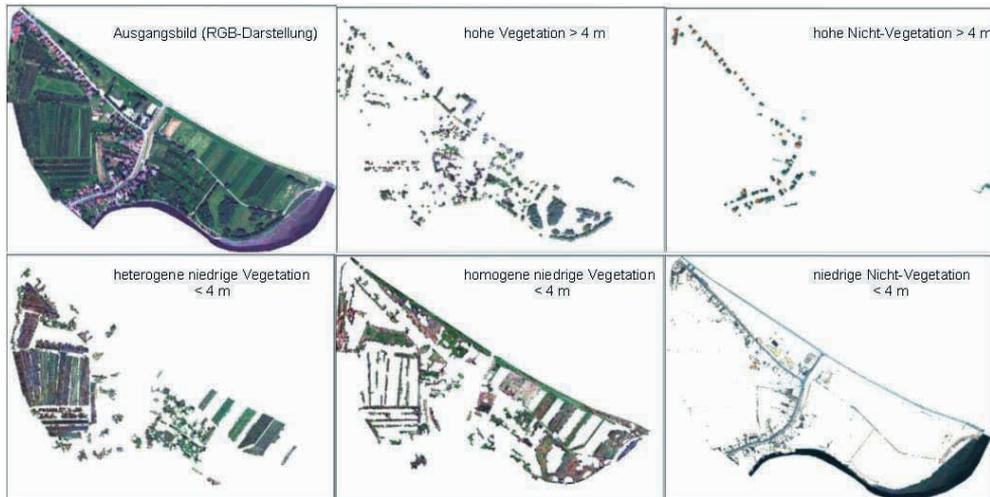


Abb. 4: Trennung von Objektklassen anhand des Beispiels „Este-Mündung“.

den (siehe Abb. 4). Die weitere Unterscheidung der Objektklassen wird weiterhin durch unüberwachte und überwachte Klassifizierungen und eine anschließende GIS-basierte Postklassifikation vorgenommen.

4 Ergebnisse und Bewertung

4.1 Mehrwert gegenüber Felderfassung

Am Beispiel eines Ausschnittes des Testgebietes Elbinsel Heuckenlock werden die Abweichungen zwischen den Ergebnissen der computergestützten Biotoptypen-Klassifikation mit den Resultaten der terrestrischen Geländekartierung und anschließendem On-Screen-Digitizing erläutert (vgl. Abb. 5).

Es wird deutlich, dass die Abgrenzung der Bestände mit Hilfe der computergestützten Methode mit sehr hoher Lagegenauigkeit vollzogen wurde. Auch kleinere Bestände bis hin zu Einzelbäumen können lage- und flächentreu wiedergegeben werden. Im Rahmen einer Kartierung ist dies in der Regel wegen des zu hohen Aufwandes für die Nachzeichnung jedes einzelnen Baumes in großen Untersuchungsgebieten nicht realisierbar. Daher wird auch bei der Betrachtung der Gehölzbestände die Generalisierung besonders deutlich. Folglich eignet sich

die vorliegende Referenzgrundlage zur Validation der Ergebnisse der Bildklassifikation aufgrund der starken Generalisierung auch nur bedingt. Angesichts dieser Problematik besitzen konventionelle Angaben zur Klassifikationsgenauigkeit nur eine sehr eingeschränkte Aussagekraft.

4.2 Mehrwert der kombinierten Auswertung

Das Ergebnis der Biotoptypenklassifikation unter Verwendung der Bild- und Laserdaten (ohne manuelle Überarbeitung) für das Untersuchungsgebiet Este-Mündung, das im Gegensatz zum Gebiet Heuckenlock stark anthropogen überformt ist, wird in Abb. 6d dargestellt. Dem gegenüber gestellt sind das Ausgangsbild (Abb. 6a), das Ergebnis der Digitalisierung mit anschließender Attributierung (Abb. 6b) sowie das Ergebnis der Biotoptypenklassifikation des Gebietes auf Grundlage von HRSC-AX-Daten *ohne* ALTM-Daten und ohne manuelle Überarbeitung (Abb. 6c).

Bei der visuellen Überprüfung wird deutlich, dass *ohne* die Verwendung der ALTM-Daten eine automatisierte Klassifikation insbesondere der komplexen oder heterogenen Strukturen (wie z. B. Obstplantagen, unregelmäßig verbuschende Flächen) ent-

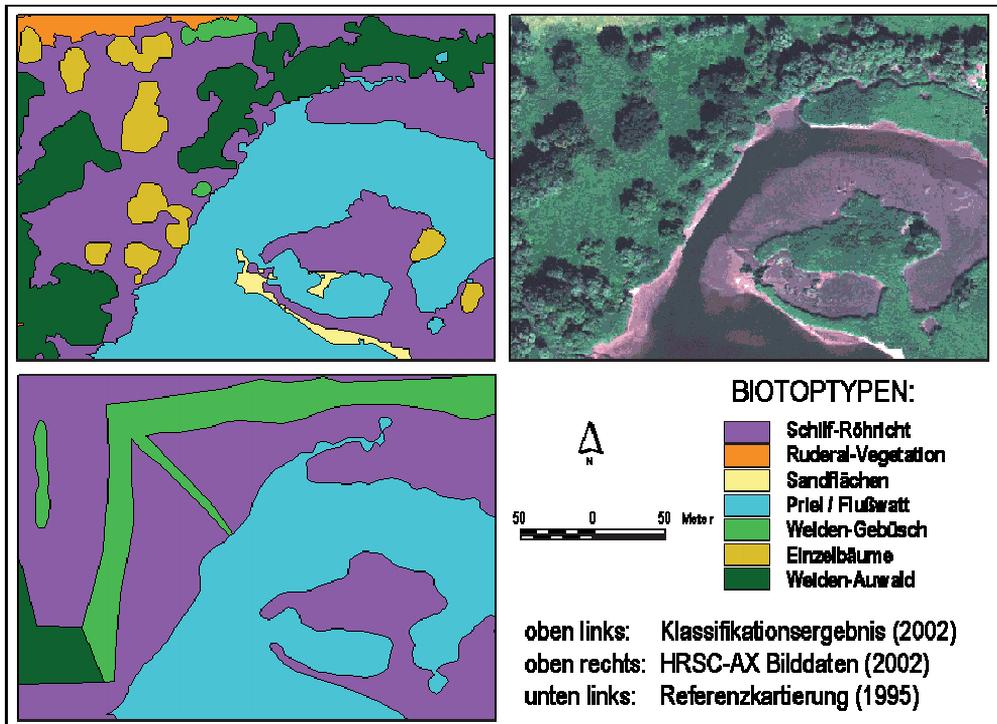


Abb. 5: Vergleich der Klassifikationsergebnisse am Beispiel des Untersuchungsgebietes Heuckenlock.

weder nicht als zusammenhängende Objekte identifizierbar sind, oder aber eine sehr starke Generalisierung dieser Teilgebiete erfolgt, so dass andere Elemente innerhalb dieser Strukturen (z. B. Straßen oder Wege) nicht mehr erkannt werden können. Durch die Unterscheidung in heterogene und homogene niedrige Vegetation mittels der aus dem nDOM abgeleiteten Höhentexturen und Mindestobjektgrößen vor der eigentlichen überwachten Klassifikation können diese komplexen Strukturen deutlich besser abgegrenzt werden. Auch die Elemente innerhalb dieser Strukturen (wie Wege o. ä.) sind weiterhin identifizierbar.

Ferner können durch die Einbindung der Höhenmerkmale basierend auf Laserscanningdaten insbesondere die hohen Objekte mit „scharfen Kanten“ wie z. B. die Gebäude oder andere anthropogene Elemente erwartungsgemäß deutlich besser automatisiert bestimmt werden. In dem entsprechenden Ergebnis der Biotoptypenklassifikation nur auf Basis der HRSC-AX-Daten werden

viele Häuser der umliegenden Objektklasse Straße zugewiesen oder sehr unscharf abgegrenzt. Demnach mussten bisher unter Verwendung dieser Methode diese Fehler manuell überarbeitet werden. Für die Abgrenzung von hohen Vegetationsbeständen (wie z. B. Bäumen) ist für dieses Untersuchungsgebiet nur ein geringer Mehrwert zu ermitteln.

Eine Unterscheidung bestimmter Biotoptypen ist jedoch auch weiterhin durch eine kombinierte Datennutzung nicht möglich. Hierzu gehört z. B. die Trennung zwischen Grünflächen und Garten/Rasen sowie zwischen Parkplätzen und Straßen, da sich diese Objektklassen weder multispektral noch durch ihre Höhe unterscheiden.

Die Untersuchung der Klassifikationsgüte, die für die automatisierte Interpretation des Areal-Este-Mündung ohne nachfolgende manuelle Überarbeitung bestimmt wurde, bestätigt die Ergebnisse der visuellen Kontrolle. Die Überprüfung erfolgte anhand von 100 zufällig gewählten Punkten im

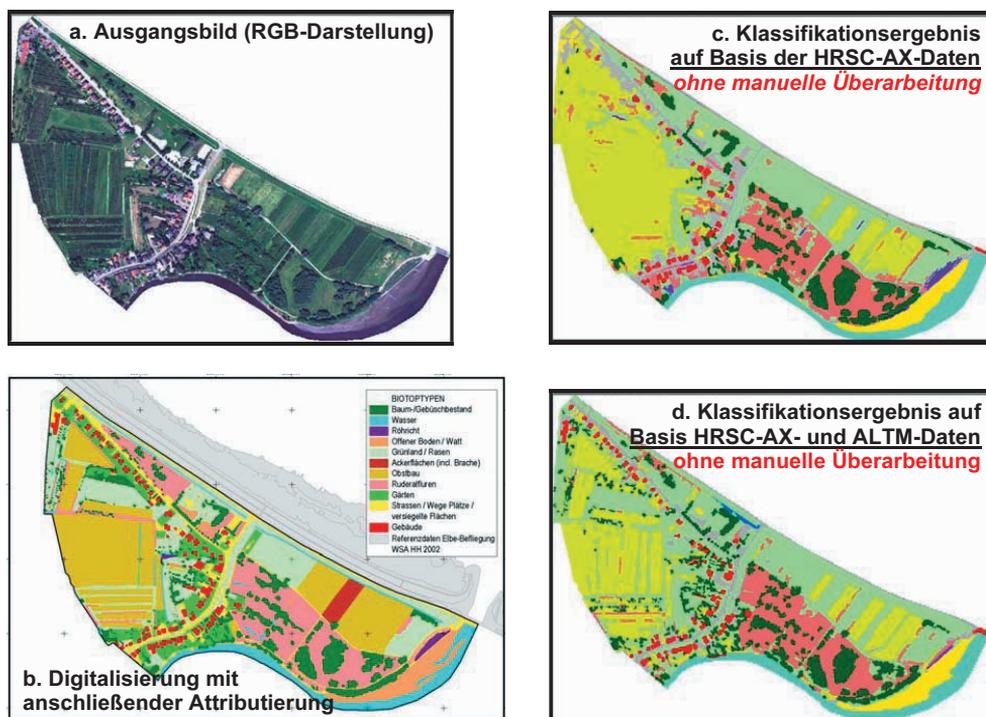


Abb. 6: Ergebnisvergleich für das Untersuchungsgebiet Este-Mündung.

Untersuchungsgebiet, wobei in Abhängigkeit des Vorkommens bzw. der Fläche eine Gewichtung vorgenommen wurde. Die Gesamtklassifikationsgenauigkeit beträgt 67%, der Kappa-Koeffizient 0,60. Diese Werte sind damit signifikant höher als die für die Klassifizierung basierend auf HRSC-AX-Daten (54% bzw. 0,44). Diese insgesamt relativ „schlechten“ statistischen Kennwerte, die sich auf die „Rohklassifikation“ ohne Nachbearbeitung beziehen, sind neben tatsächlichen Fehlklassifikationen auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Aufgrund typischer Generalisierungsprozesse stellt die aus einer manuellen Digitalisierung abgeleitete Vergleichsgrundlage keine exakte Referenz dar (insbesondere werden Objektgrenzen beim Digitalisieren stark geglättet).
- Die Klassifikation erkennt richtigerweise kleine Objekte (z. B. Bäume), die in der Referenz aber Bestandteil einer großräumigen Klasse (z. B. Kleingarten) sind. Hier liegen also eher (teilweise nicht lös-

bare) Defizite bei der Objektmodellierung bzw. der Definition der Biotoptypen vor.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Während die Erfassung von räumlich hoch aufgelösten, multisensoralen Daten technisch weit fortgeschritten ist, fehlen noch geeignete Konzepte und entsprechende Algorithmen zu deren Auswertung. In den vorgestellten Projekten wurde das Potenzial höchstauflösender, digitaler Flugzeugscannerdaten für ein flächenscharfes Biotoptypen-Monitoring untersucht. Hierzu wurde ein automatischer und standardisierter Klassifikationsablauf entwickelt, der basierend auf der digitalen Datenbasis GIS- und Fernerkundungsmethoden integriert. Eine Übertragung des Verfahrens auf Bilddaten unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte (hier im Abstand von zwei Jahren) konnte nachgewiesen werden.

Darüber hinaus wurde zur kombinierten Nutzung multispektraler Bild- und Laser-

scanning-Daten zur Biotoptypenklassifikation festgestellt, dass eine Ableitung von Merkmalen aus Laserscanning-Daten sowie deren Integration in die entwickelten Auswertelgorithmen einen Mehrwert für Klassifikationen darstellen kann. Der Vorteil ist vor allem in urbanen Bereichen bzw. stark anthropogen überformten Gebieten mit scharfen Objektkanten zu erkennen. Für die Abgrenzung von natürlichen und naturnahen Strukturen und Objekten (wie z. B. Bäumen) ist ebenfalls ein Mehrwert für die Unterscheidung der verschiedenen Objekttypen zu ermitteln. Dieser muss bei gleichzeitiger Betrachtung des höheren Zeit- und Kostenaufwandes jedoch als verhältnismäßig gering eingeschätzt werden. Allerdings ist vor dem Hintergrund, dass das vorliegende Untersuchungsgebiet ein flaches Relief aufweist und das DOM hier nahezu die Objekthöhen repräsentiert, der Zugewinn an Information bzw. Detailschärfe in Gebieten mit mehr Reliefenergie als deutlich höher einzuschätzen. Hingegen konnten Intensitätswerte bzw. -merkmale bei der vorliegenden Datenbasis keine Unterstützung zur weiteren Unterscheidung von Biotoptypen leisten. Für das Szenario, dass keine weiteren Multispektraldaten vorliegen sollten, könnten die Intensitätswerte aber sicherlich eine Unterstützung bei einer visuellen, eventuell auch der automatisierten Auswertung bieten.

6 Danksagung

Die hier vorgestellten Ergebnisse basieren auf mehreren Projekten, die sowohl vom Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg, als auch vom Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven sowie von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) gefördert wurden.

7 Literatur

- BfG, 2000: Computergestützte Klassifizierung von Biotoptypen auf Grundlage digitaler hochauflösender multispektraler Scannerdaten (HRSC-A). – Unveröffentlichter Projektabschlussbericht.
- BLASCHKE, T. & STROBL, J., 2001: What's Wrong with Pixels? Some Recent Developments Interfacing Remote Sensing and GIS. GIS – Zeitschrift für Geoinformationssysteme **6**: 12–17.
- EHLERS, M., GÄHLER, M. & JANOWSKY, R., 2003: Automated Analysis of Ultra High Resolution Remote Sensing Data for Biotope Type Mapping: New Possibilities and Challenges. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **57** (5-6): 315–326.
- EHLERS, M., MÖLLER, M. JANOWSKY, R. & GÄHLER M., 2000: Entwicklung einer Methode zur automatisierten Biotoptypen-erfassung auf der Grundlage von HRSC-A-Scannerdaten. – Unveröffentlichter Projektabschlussbericht.
- GÄHLER, M., 2000: GIS-basierte Biotoptypenklassifikation auf Grundlage von multispektralen HRSC-A-Scannerdaten – Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten am Beispiel der Elbinsel Pagensand. – Diplomarbeit, Universität Osnabrück.
- GÄHLER, M. & JANOWSKY, R., 2003: Hierarchisches Klassifikationsverfahren zur automatisierten Ableitung von Biotoptypen aus HRSC-AX-Scannerdaten. – Publikationen der DGPF (Jahrestagung Bochum, 2003), **12**: 81–88.
- GÄHLER, M., JANOWSKY, R. & SCHRÖDER, R., 2001: Automatisierte Biotoptypenklassifizierung auf Basis höchstauflösender Flugzeugscannerdaten. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS. Neue Sensoren – innovative Methoden. – pp. 233–242, Heidelberg.
- NEUKUM, G. & HRSC-Team, 2001: The Airborne HRSC-AX cameras: evaluation of the technical concept and presentation of application results after one year of operation. – In: FRITSCH, D. & SPILLER, R. (Hrsg.): Photogrammetric Week 2001, Heidelberg: 117–130.
- SCHIEWE, J. & EHLERS, M., 2004: Semantisches Potenzial digitaler flugzeuggestützter Fernerkundungssensoren. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2004** (6): 463–474 (dieses Heft).
- SEILER, U., NEUBERT, M. & MEINEL, G., 2004: Automatisierte Erfassung von Biotop- und Nutzungstypen. – Naturschutz u. Landschaftsplanung **36** (4): 101–105.

Anschrift der Autoren

Dipl.-Geogr. MONIKA GÄHLER
 Dipl.-Biol. RONALD JANOWSKY
 PD Dr.-Ing. JOCHEN SCHIEWE
 Forschungszentrum für Geoinformatik und Fernerkundung
 Universität Osnabrück
 Eichendorffweg 30, D-49377 Vechta
 Tel.: 04441-15-428/-241/-428
 e-mail: {mgaehler, rjanowsky, jschiewe}@fzg.uni-vechta.de

Manuskript eingereicht: Juli 2004
 Angenommen: August 2004