

Angewandte Vegetationskartierung großräumiger Projektgebiete auf Basis digitaler Luftbilddaten – eine kombinierte Methode aus Fernerkundung, GIS und nahezu flächendeckender Verifizierung im Gelände.

Jörg PETERSEN, Otto DASSAU, Hans-Peter DAUCK & Nicole JANINHOFF

Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“ angenommen.

Zusammenfassung

Das Unternehmen nature-consult aus Hildesheim (<http://www.nature-consult.de>) hat über Jahre ein Verfahren entwickelt und etabliert, bei dem die klassische, flächendeckende Vegetationskartierung mit den modernen Methoden der multispektralen Bilddatenanalyse kombiniert wird. Auf Basis einer intensiven Projektplanung wird das fachspezifische Wissen der Disziplinen Vegetationskunde, GIS und Fernerkundung zusammengeführt. Dabei entstehen Kartenwerke mit sehr hoher inhaltlicher Qualität und Lagegenauigkeit bei gleichzeitiger Effizienz.

Es werden das entwickelte Verfahren vorgestellt und wichtige Hinweise für die Umsetzung von Vegetationskartierungen großräumiger Projekte auf Basis digitaler Luftbilddaten gegeben. Zusätzlich zu dem Verfahren wird dessen direkte Anwendung anhand von drei Referenzprojekten für die Nationalparkverwaltungen Niedersächsisches und Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer sowie die Bundesanstalt für Gewässerkunde dokumentiert. Dabei kamen mit den Matrixkameras UltraCam-D und DMC sowie dem Zeilenscanner HRSC-AX verschiedene Kamerasysteme zum Einsatz.

1 Einleitung

Vegetationskartierungen sind aktuell wie in der Vergangenheit das wichtigste und genaueste Element zur flächendeckenden Dokumentation des Ist-Zustandes. Diese Daten ermöglichen Aussagen über vorliegende bzw. auftretende Veränderungen, um somit beispielsweise naturschutzfachliche, küstenschutzorientierte oder ganz allgemeine Planungen einzuleiten oder vorliegende Auflagen zu erfüllen. In diesem Zusammenhang sind die Aufgaben bzw. Berichtspflichten im Rahmen von: Natura 2000, EU-Wasserrahmenrichtlinie, Trilateralen Wattenmeer Abkommen, Großschutzgebieten, Umweltverträglichkeitsstudien (UVS) etc. aufzuführen.

Bei der Vegetationskartierung spielen die Auswertung und Analyse digitaler (multispektraler) Bilddaten eine immer größere Rolle, besonders wenn die zu kartierende Fläche sehr groß ist, Zeit- und Budgetrahmen aber begrenzende Parameter sind. Insgesamt konzentrieren sich die meisten bisherigen Ansätze entweder auf die klassische Vegetationserfassung

im Gelände, wobei die Luftbilder ausschließlich als Hintergrundkarte verwendet werden, oder auf die reine digitale Bilddatenanalyse der Vegetation (Klassifizierung) mit nur stichprobenartiger Kontrolle der Ergebnisse im Gelände (vgl. NAGEL 2007).

Basierend auf diesen beiden Ansätzen wurde ein kombiniertes Verfahren entwickelt und angewandt. Dabei werden die Stärken bzw. Vorteile sowohl einer klassischen, flächendeckenden Vegetationskartierung als auch einer modernen computergestützten Bilddatenanalyse sich ergänzend genutzt und durch das zentrale Element GIS verbunden. Eine wichtige Voraussetzung zur erfolgreichen Umsetzung dieser Methode ist hierbei die „direkte“ fächerübergreifende Zusammenarbeit von Experten der Fachbereiche Vegetationskunde, GIS und Fernerkundung.

2 Angewandtes Verfahren (Arbeitsschritte)

Im Vorfeld bzw. Rahmen mehrerer Projekte wurde eine zukunftsorientierte Herangehensweise – d. h. die Implementierung von Fernerkundung zur Unterstützung der Vegetationserfassung – erarbeitet, angewandt und weiterentwickelt. Dieses mehrstufige Verfahren soll im Folgenden näher erläutert werden (vgl. Abb. 1):

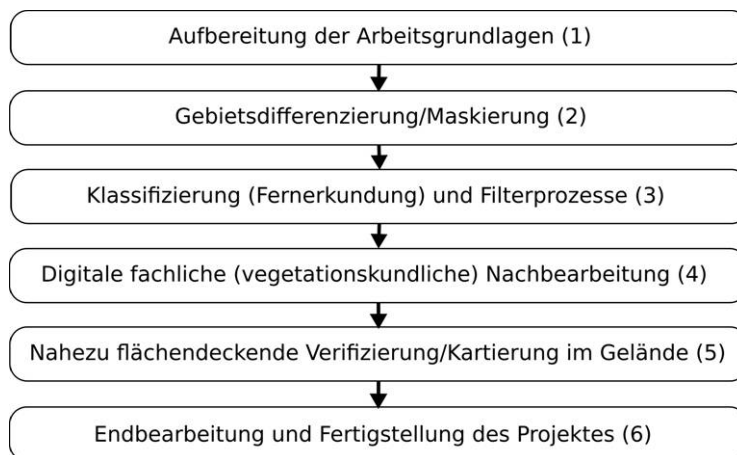


Abb. 1: Übersicht des angewandten Verfahrens (Arbeitsschritte).

2.1 Aufbereitung der Arbeitsgrundlagen

Am Anfang eines jeden Projektes erfolgt eine „sinnvolle“ Auswahl der zu erfassenden Vegetationseinheiten. Bewährt hat sich ein feiner ausdifferenzierter Kartierschlüssel für Schwerpunktbereiche und eine etwas gröbere Einteilung der zu kartierenden Typen für thematische Randbereiche (vgl. BFN 2001, DRACHENFELS 2004). Generell lässt sich aufführen, dass für eine Klassifizierung „weniger mehr“ ist.

Falls bei Projektbeginn die Befliegung des Untersuchungsgebietes noch nicht abgeschlossen ist, findet zusätzlich auch eine Beratung statt, welche digitalen Daten (Luftbild-, Höhendaten) für die jeweilige Kartierung sinnvoll bzw. notwendig sind und wie deren Aufbe-

reitung durchgeführt werden sollte, um optimale Voraussetzungen für die Klassifizierung zu erzielen. Denn bei der Differenzierung von Vegetationseinheiten müssen die bereitgestellten Bilddaten speziellen Anforderungen genügen.

An dieser Stelle soll deshalb auf einige wichtige Eckpunkte bei der Planung eines Bildfluges und der nachfolgenden Datenaufbereitung seitens der Befliegungsfirma eingegangen werden:

- Der Befliegungszeitraum sollte so liegen, dass sich die entscheidenden Pflanzenarten bzw. Vegetationstypen in einem optimalen Entwicklungszustand befinden. Häufig erweist sich der Zeitraum von Mitte Juni bis Mitte September als geeignet.
- Die Befliegung sollte möglichst an einem Tag durchgeführt werden. Ansonsten sollten „definierte Großgebiete“ unter gleichen Bedingungen befliegen werden.
- Zum Zeitpunkt der Befliegung sollten die Beleuchtungsverhältnisse optimal sein. Um Schatten zu vermeiden, sollte eine Befliegung mittags stattfinden (Sonnenhöhe > 30 Grad). Eine Beeinträchtigung durch Wolken (Bewölkung max. ca. 5 %), Wolken schatten, Dunst, Nebel, Lichtstreifen etc. ist zu vermeiden.
- Im Gezeitenbereich sind die Tidezeiten zu beachten, d. h. Befliegung während Tideniedrigwasser (ca. 2 h vor bis 3 h nach mittl. TNW).
- Die radiometrische Auflösung der Luftbilddaten sollte dem aktuellen Stand der Technik entsprechen (mindestens 12 bit).
- Für eine Vegetationskartierung sollten mindestens die Kanäle Grün, Rot und Nahes Infrarot (NIR) bereitstehen. Zusätzliche spektrale Kanäle (z. B. Blau oder PAN) erhöhen den Informationsgehalt und damit die Qualität der Klassifizierung. Die einzelnen spektralen Kanäle sollten in einem verlustfreien Bilddatenformat wie Erdas Imagine (*.img) oder GeoTiff (*.tif) abgeben werden.
- Durch Höhendaten lässt sich die Qualität der Klassifikation häufig verbessern. Zur Vermeidung unnötiger Kosten erweist sich eine Einschätzung im Vorfeld als sinnvoll. Die vertikale Auflösung sollte im Dezimeterbereich liegen.
- Die geometrische Auflösung (GSD) sollte sich im Dezimeterbereich (10 – 40 cm) bewegen. Die horizontale Lagegenauigkeit sollte besser als 1 m sein.

Ein besonderes Augenmerk sollte auf die spektrale Aufbereitung der Luftbilddaten zu Mosaiken gelegt werden:

- Die Histogramme der einzelnen Spektralkanäle sollten aufeinander abgestimmt werden, um Farbwechsel zwischen den Kacheln zu vermeiden und um zu erreichen, dass Vegetationseinheiten über das Gesamtgebiet das gleiche spektrale Rückstreuverhalten zeigen.
- Die Mosaiken sollten möglichst großflächig sein, aber eine Dateigröße von ca. 10 GB nicht überschreiten.
- Die Mosaiken sollten entsprechend anderer Daten gekachelt als Layerstack bereitgestellt werden. Dies kann z. B. eine DGK5-Kachelung (2.000 x 2.000 m) sein.

Bei der Aufbereitung von Luftbildern werden Verfahren der radio- und geometrischen Bildverbesserung angewendet, wobei Störungen oder Effekte, die bei der Datenaufnahme entstehen, verringert bzw. verbessert werden sollen. Typische Verfahren sind Kontrastverbesserungen, digitale Filterungen, Fourier- und Hauptkomponenten-Transformation (vgl. SCHOWENGERDT 2007).

Darüber hinaus spielt die Datenerweiterung bei der Vegetationsklassifizierung multispektraler Luftbilder eine immer wichtigere Rolle. Ziel dabei ist es, zusätzliche Informationen über die zu kartierende Vegetation zu sammeln und für die Differenzierung zu nutzen. Diese „künstlichen“ Kanäle können z. B. zusätzliche Informationen über die Geländehöhen, die Geologie, die Oberflächenstruktur (Textur), die Hangneigung oder die Bodeneigenschaften des zu kartierenden Gebietes bereitstellen (vgl. ALBERTZ 2007).

2.2 Gebietsdifferenzierung/Maskierung

Im Vorfeld der digitalen Analysen werden nicht zu klassifizierende Gebiete maskiert und somit die Bereiche für die digitale Auswertung festgelegt und auch minimiert. Ziel ist es dabei, die Anzahl der in diesen Bereichen zu klassifizierenden Vegetationseinheiten zu verringern, um damit jeweils das Ergebnis der Klassifizierung zu optimieren. Datenquellen, die genutzt werden können, sind amtliche Karten der Vermessung wie ALK, ATKIS oder DBWK2. Durch diese Verknüpfung ist auch eine lagegenaue Zuordnung zu den offiziellen topographischen Kartenwerken gegeben.

Eine unüberwachte Klassifizierung der Bilddaten im Vorfeld kann helfen z. B. Wasserflächen zu bestimmen und diese in die Maske zu integrieren. Häufig ist es bei der Maskerstellung aber auch notwendig, Flächen manuell zu digitalisieren und somit als Maskenelement zu kennzeichnen.

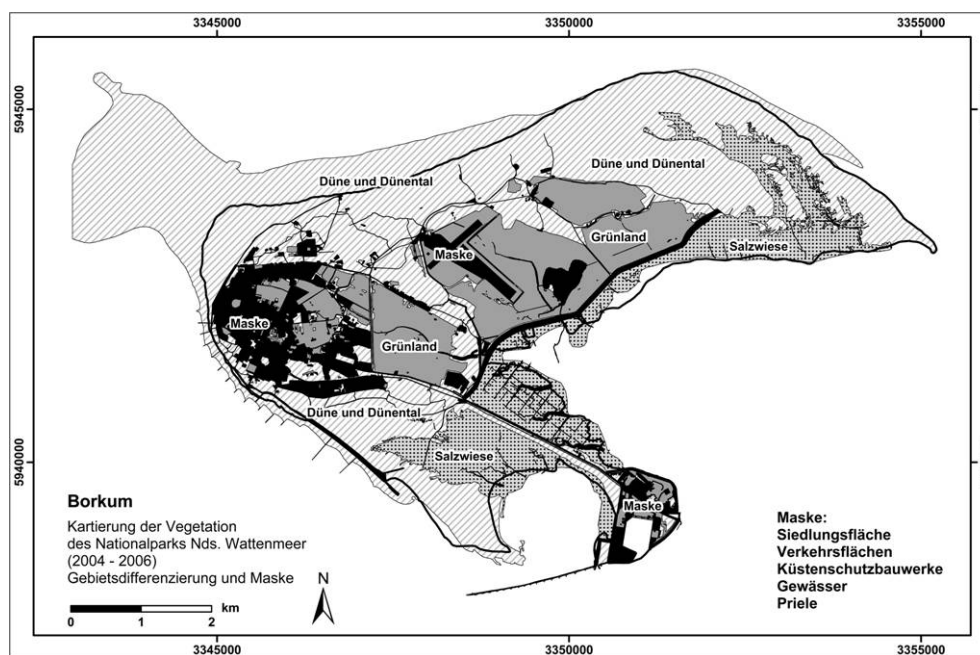


Abb. 2: Gebietsdifferenzierung und Maskierung am Beispiel der Ostfriesischen Insel Borkum (Vorteil: Getrennte Klassifizierung der Dünen/Düentaler, Salzwiesen und des Grünlandes; Projektübersicht vgl. Tab. 1). Vegetationskarte zum Download unter: [http://www.nationalpark-wattenmeer.niedersachsen.de/Leben & Lebensraum / Lebensräume / Digitale Karten](http://www.nationalpark-wattenmeer.niedersachsen.de/Leben%20%26%20Lebensraum/Lebensr%C3%A4ume/Digitale%20Karten).

2.3 Klassifizierung und Filterprozesse

Grundlage einer überwachten Klassifizierung sind die so genannten Trainingsflächen. Mit ihnen werden den verschiedenen Vegetationseinheiten spezifische spektrale Eigenschaften zugewiesen und diese für die Differenzierung in unterschiedliche Klassen genutzt.

Bei der Festlegung der zu klassifizierenden Vegetationseinheiten wird darauf geachtet, dass sich die spektralen Eigenschaften der Trainingsflächen dieser Einheiten möglichst deutlich unterscheiden (vgl. JÄHNE 2005). Zur Interpretation können, wie in Abb. 3 zu sehen, Häufigkeitsverteilungen der Pixelwerte einzelner Vegetationseinheiten abgeleitet und als ein- oder mehrdimensionale Merkmalsräume visualisiert werden (vgl. LILLESAND et al. 2003).

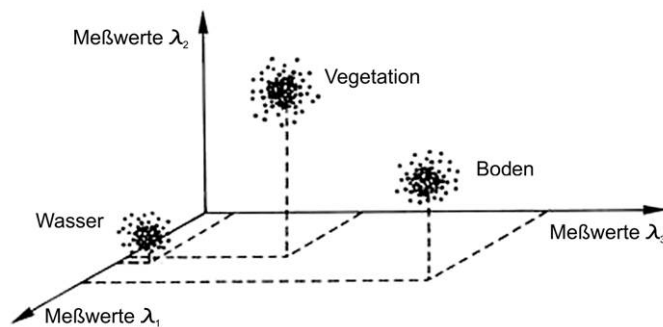


Abb. 3: 3D-Merkmalsraum zur Multispektral-Klassifizierung (Quelle ALBERTZ 2007).

Abweichend von der „normalen“ Ground Truth Datenerhebung werden bei der hier angewandten Methode über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt Trainingsflächen im Gelände mittels hoch auflösendem GPS-Gerät (z. B. Trimble: GeoExplorer mit GeoBeacon) erhoben. Weiterhin beinhaltet dieser Ansatz auch das zusätzliche, nachträgliche „Setzen“ von Trainingsflächen im GIS seitens der ortskundigen Vegetationsexperten, d. h. der Personen, die bereits im Gelände die Erfassung der Referenzflächen durchgeführt haben. Insgesamt liegt dann ein flächendeckender Trainingsflächen-Datensatz vor, der, so zeigen es die Vergleichsuntersuchungen, die mit Abstand besten Klassifizierungsergebnisse liefert. Denn es ist somit möglich, für regional begrenzte Teiluntersuchungsbereiche jeweils eine eigene Klassifizierung mit ganz eigenen Trainingsflächen durchzuführen.

Klassifizierung

Die überwachte geo-/radiometrisch kombinierte Klassifizierung der Daten wird mit der Freien Software GRASS (<http://grass.osgeo.org>) durchgeführt. Dieses bereits seit Mitte der 80er Jahre in Entwicklung befindliche GIS bietet im Bereich der Fernerkundung umfangreiche Funktionen.

Zu Beginn der Klassifizierung findet auf Basis der Trainingsflächen eine Clusteranalyse der Bilddaten mit dem Modul *i.gensiget* statt. In der Praxis werden dazu die für die Klassifizierung aufbereiteten spektralen und „künstlichen“ Kanäle (z. B.: G, R, NIR, Vegetationsindex, Höhenstufen und Texturinformationen) in einer Kartengruppe zusammengefasst.

Entsprechend ihrer spektralen Eigenschaften erfolgt eine statistische Analyse, die in Form von Gaußschen Normalverteilungen als Trainingssignaturen im GIS gespeichert werden. Dabei wird zur Schätzung der Parameter der EM-Algorithmus angewandt (vgl. DEMPSTER et al. 1977). Die Anzahl der Normalverteilungen wird bei der Auswertung der Trainingsflächen unter Verwendung von Rissanen's Minimum Description Length (MDL) Kriterium statistisch festgelegt (vgl. RISSANEN 1983) oder im GIS vorgegeben.

Zusätzlich wird eine Gewichtung der Normalverteilungen vorgenommen, in dem a priori Wahrscheinlichkeiten der Subklassen bei der Erstellung der Trainingssignaturen verwendet werden. Die anschließende Klassifizierung erfolgt mit dem Modul i.smap, welches den „Sequential Maximum a Posteriori“ (SMAP) Segmentierungsalgorithmus mit dem „Multiscale Random Field“ (MSRF) Modell kombiniert. Die bereits für die Clusteranalyse definierte Kartengruppe wird nun auf Basis der erstellten Trainingssignaturen analysiert und den Vegetationsklassen zugewiesen (vgl. NETELER & MITASOVA 2007). Im Gegensatz zu pixelbasierten Verfahren wird dabei ein pyramidaler Ansatz verfolgt, der neben den radiometrischen auch geometrische Informationen nutzt und nachbarschaftliche Beziehungen zwischen Pixelwerten bei der Klassenzuweisung verwendet (vgl. RIPLEY 1996).

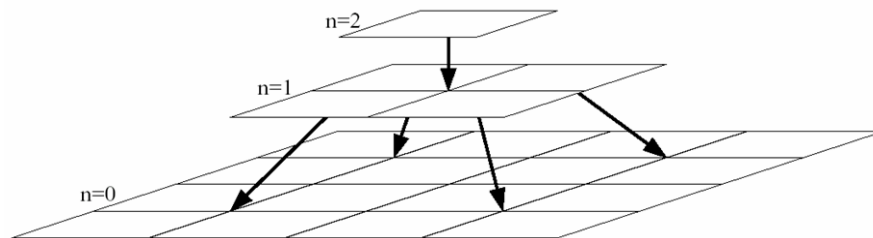


Abb. 4: Multiscale Random Field Modell (MSRF, Quelle BOUMAN & SHAPIRO 1996).

Durch die Pyramidenstruktur des mit unterschiedlichen Bildauflösungen arbeitenden MSRF (vgl. Abb. 4) wird für jeden Pixel innerhalb eines vordefinierten Bildausschnitts die Zugehörigkeitswahrscheinlichkeit zu einer Klasse ermittelt (vgl. BOUMAN & SHAPIRO 1996).

Filterprozesse

Nach der Klassifizierung finden mehrere Filterprozesse statt. Dabei wird in einem ersten Schritt eine mehrstufige, rasterbasierte Nachbarschaftsfilterung der Ergebnisse durchgeführt. Die Aufgabe dieses Arbeitsschrittes lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Kleinstflächen, die bei jeder Klassifizierung aufgrund von Mischpixel und spektralen Heterogenitäten auftreten, sollen minimiert werden, ohne den Informationsgehalt der Klassifizierung zu verfälschen.

Im Anschluss an diese ersten Filterprozesse werden die Daten ins Vektorformat konvertiert und für die Erstellung der Feldkarten weiterbearbeitet. Die notwendigen Arbeitsschritte sind:

- Reduktion der Datenmenge durch Verringerung der Vektorstützpunkte, ohne die Geometrien der Klassifikation wesentlich zu verändern.

- Zusätzliche Filterung der Vegetationsflächen auf eine zuvor definierte, projektspezifische minimale Flächengröße der Kartiereinheiten. Bewährt hat sich eine Minimumfläche zwischen 200 und 500 m². Kleinere Flächen lassen sich in den „gängigen bzw. gewünschten“ Kartiermaßstäben (1:3.000 bis 1:5.000) kaum mehr darstellen. Zudem soll der Informationsgehalt der Klassifizierung durch die Kartierer im Gelände in einem vertretbaren Zeitrahmen nahezu flächendeckend verifiziert werden können. Ausgewählte Einheiten (z. B. naturschutzfachlich besonders schützenswerte Typen) werden häufig abweichend von der im Projekt festgelegten Minimumfläche auch kleinräumiger erfasst.

2.4 Digitale fachliche (vegetationskundliche) Nachbearbeitung

Im Anschluss an die Klassifizierung und die Filterprozesse folgt als ganz wesentlicher Punkt die digitale Überarbeitung und Kontrolle der gefilterten Vektordaten im GIS. Dieses wird von den ortskundigen Vegetationsexperten durchgeführt, die im Rahmen des Projektes auch für die Erhebung der Trainingsflächen zuständig sind.

Es folgen Arbeitsschritte zur Festlegung des optimalen Kartiermaßstabs, Anfertigung des Feldkartenrasters sowie der Druck der Feldkarten für die Verifizierung/Kartierung im Gelände (vgl. Abb. 5).

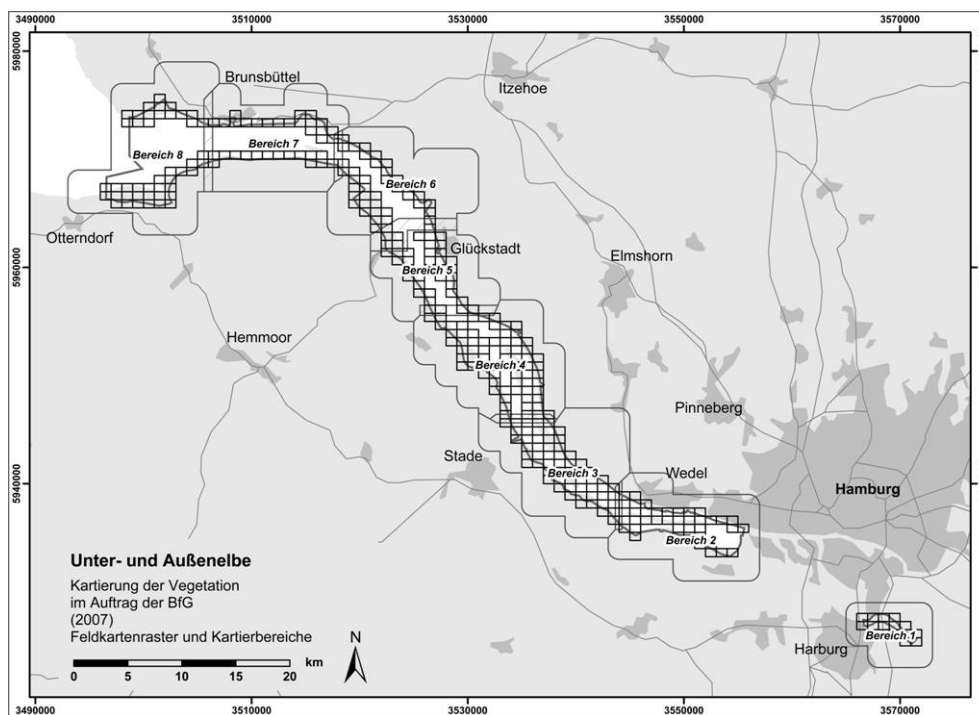


Abb. 5: Übersicht des Projektgebietes anhand des Feldkartenrasters der Unter- und Außenelbe von Otterndorf bis Hamburg (Projektübersicht vgl. Tab. 1).

2.5 Verifizierung/Kartierung im Gelände

Nachdem die Klassifikation gefiltert und digital überarbeitet wurde, findet grundsätzlich eine flächendeckende Geländebegehung statt. Unter optimalen Bedingungen handelt es sich dabei um eine Verifizierung. Der Fokus liegt auf Bereichen, die sich während der digitalen fachlichen Nachbearbeitung als schwierig bzw. unsicher herausgestellt haben.

Auf diese Weise wird der zeitliche Aufwand für die Geländearbeit im Vergleich zu konventionellen Kartiermethoden stark reduziert und die Bearbeitung sehr effizient.

2.6 Endbearbeitung und Fertigstellung des Projektes

Nach der Geländearbeit erfolgt eine abschließende Integration und Kontrolle der Verifizierungs- bzw. Kartierungsergebnisse in die digitalen Feldkarten (GIS-Projekt). Dabei gilt: Je besser die vorangegangenen Arbeitsschritte, desto geringer ist der Aufwand für die abschließende Digitalisierung der Geländekarten.

3 Projektbeispiele

Das vorgestellte Verfahren wird seit dem Jahr 2003 erfolgreich angewendet. Anhand von drei Referenzprojekten, die für die Nationalparkverwaltungen Niedersächsisches und Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer sowie die Bundesanstalt für Gewässerkunde durchgeführt wurden, soll dieses in Form einer Übersicht dokumentiert werden (vgl. Tab. 1).

Für die gesamten terrestrischen Bereiche des Nationalparks Niedersächsisches Wattenmeer wurde auf der Basis von HRSC-AX- und DMC-Luftbilddaten eine Vegetationskartierung der FFH-Lebensraumtypen sowie ergänzender TMAP-Einheiten (Trilateral Monitoring and Assessment Program) und Biotoptypen angefertigt. Die Bearbeitung ist unter Vorgabe der FFH-Berichtspflicht und auf Grundlage der Ergebnisse der TMAP-Arbeitsgruppen durchgeführt worden (vgl. BAKKER et al. 2005, PETERSEN & LAMMERTS 2005). Der gesamte Bereich des Nationalparks mit ca. 33.000 ha wurde dabei von maximal vier Vegetationsexperten im Maßstab 1:3.000 auf Basis der Luftbildklassifikation kartiert (vgl. PETERSEN & POTT 2005, NATURE-CONSULT 2006).

Im Anschluss an diese Kartierung wurden auch die gesamten terrestrischen Bereiche des Nationalparks Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer auf Grundlage von Luftbilddaten der Kamera UltraCam-D umfassend bearbeitet. Neben der intensiven Kartierung von ca. 15.000 ha Salzwiesen- sowie Dünen-, Dünenal- und Grünlandvegetation sind auch noch die Parameter Nutzung und Abbruchkanten flächendeckend in nur 11 Wochen Geländearbeit erfasst worden.

Weiterhin wurden in einem Projekt die Röhrichtbestände und angrenzende ufernahe Vegetation der Unter-/Außenelbe im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) kartiert. Die Auswertung erfolgte auf der Basis digitaler DMC-Luftbilder und Laserscandaten sowie weitestgehend flächendeckender Geländearbeit. Mit dem hier beschriebenen Verfahren konnten in nur zweieinhalb Monaten ca. 10.000 ha klassifiziert, fachlich digital überarbeitet und im Feld kartiert bzw. verifiziert werden (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: Übersicht wichtiger Eckdaten aufgeführter Referenzprojekte.

Auftraggeber:	Nationalparkverw. Nds. Wattenmeer	Nationalparkverw. Schleswig-Holsteini- sches Wattenmeer	Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
Kartiergebiet:	Ges. terrestrischen Flächen des Nationalparks	Ges. terrestrischen Flächen des Nationalparks (inkl. Halligen)	Beidseitige Unter-/Außenelbe von Otterndorf bis Hamburg
Projektdauer (Monate):	04.2004 – 01.2006 (21 Monate)	02.2006 – 2008 (ca. 26 Monate)	08.2007 – 02.2008 (6 Monate)
Fläche (ha):	ca. 33.000	ca. 15.000	ca. 10.000
Schwerpunkt der Kartierung:	Dünen, Dünentäler, Salzwiesen, Grünland	Salzwiesen (Grünland, Dünen, Dünentäler)	Röhrichte, Auenvvegetation (Grünland, Salzwiesen, Trockenrasen)
Vegetations-Typologie:	TMAP-Typen, FFH-LRT (Natura 2000)	TMAP-Typen, Pflanzengesellschaften	Pflanzengesellschaften, Biotoptypen
Anzahl der kartierten Vegetationseinheiten (+ zusätzl. Einh.):	45 (+ 11)	51 (+ 10)	24 (+ 6)
Kamerasysteme:	HRSC-AX, DMC	UltraCam-D	DMC
Auflösung GSD (cm):	HRSC-AX: 32 DMC: 24	10	25
Spektrale Kanäle:	B, G, R, NIR, PAN	G, R, NIR	B, G, R, NIR
Weitere Parameter:	Textur	Textur	Textur, Laserscandaten
Trainingsflächen:	ca. 2.000	ca. 4.600	ca. 3.600
Kartiermaßstab:	1:3.000	1:4.400	1:4.300
Feldkarten (DIN A4):	ca. 1.300	ca. 650	ca. 340
Kartierdauer (Anzahl Kartierer):	12 Wochen (jeweils 3-4 Personen)	11 Wochen (jeweils 3 Personen)	2 Wochen (jeweils 3 Personen)
Software:	GRASS GIS, ArcGIS	GRASS GIS, ArcGIS	GRASS GIS, ArcGIS
Team:	8 Personen	8 Personen	6 Personen
Weiterhin erfasst:	Erhaltungszustand (FFH)	Nutzung, Abbruchkan-ten	Fotodokumentation

4 Fazit

Das vorgestellte Verfahren hat sich positiv bewährt und wird seit Jahren erfolgreich von der Firma nature-consult im Rahmen großflächiger Vegetationskartierungen eingesetzt. Mittels dieser Methode ist es möglich, im Vorfeld der eigentlichen Kartierung so optimierte Feldkarten zu erstellen, dass auf deren Basis die Geländearbeit ausgesprochen effizient durchgeführt werden kann. Beispielsweise ist die Ostfriesische Insel Borkum mit einer Gesamtfläche von ca. 3.830 ha von vier Kartierern in nur vier Tagen vollständig erfasst worden. Für diese flächendeckende Bearbeitung wurden 126 analoge Geländekarten (DIN A4) im Maßstab 1:3.000 angefertigt und bearbeitet.

Im Ergebnis ergibt diese Herangehensweise fertige Vegetationskarten mit sehr hoher Genauigkeit in Bezug auf Lage und Vegetation. Das Werkzeug Fernerkundung kann dabei den Kartierer vor Ort mit seiner Erfahrung nicht ersetzen, wohl aber seine Arbeit erleichtern und unterstützen bzw. den Erfassungsaufwand effizienter und somit kostengünstiger gestalten.

Literatur

- ALBERTZ, J. (2007): Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbilddaten. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- BAKKER, J.P., BUNJE, J., DIJKEMA, K., FRIKKE, J., HECKER, N., KERS, B., KÖRBER, P., KOHLUS, J., STOCK, M., (2005): Salt Marshes - Chapter 7, Wadden Sea Quality Status Report. - Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven.
- BFN (2000, Hrsg.): Verzeichnis und Rote Liste der Pflanzengesellschaften Deutschlands (Bearb. E. Rennwald). - Schriftenreihe für Vegetationskunde: 35, 800 S., Bonn.
- BOUMAN, C. & SHAPIRO, S. (1996): A Multiscale Random Field Model for Bayesian Image Segmentation. - In: IEEE Trans. On Image Processing, 3(2):162-177.
- DEMPSTER, A. P.; LAIRD N. M. & RUBIN, D. B. (1977): Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm. - In: Journal of the Royal Statistical SOCIETY/ B, 39 (1), 1- 38.
- DRACHENFELS, O. v. (2004): Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen. - Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen A/4, Hildesheim.
- JÄHNE, B. (2005): Digitale Bildverarbeitung. 6. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg.
- LILLESAND, T.; KIEFER, R. & CHIPMAN, J. (2003): Remote Sensing and Image Interpretation. 5th Edition, Wiley, New York.
- NAGEL, H. (2007): Zweite landesweite Color-Infrarot-Luftbild-gestützte Biotop-und Nutzungstypenkartierung im Bundesland Sachsen-Anhalt. In: STROBL, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2007. Wichmann, Heidelberg, S. 488-494.
- NATURE-CONSULT (2006): Kartierung der gesamten terrestrischen Bereiche des Nationalparks Niedersächsisches Wattenmeer im Jahr 2004. - Im Auftrag der Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer. Unveröffentlichter Abschlussbericht, 125 S., Web: <http://www.nature-consult.de>
- NETELER, M. & MITASOVA, H. (2007): Open Source GIS: A GRASS GIS Approach. 3rd Edition, Springer, New York.
- PETERSEN, J. & LAMMERTS, E.-J. (2005): Dunes. - Chapter 9.2, Wadden Sea Quality Status Report. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven.
- PETERSEN, J. & POTT, R. (2005): Ostfriesische Inseln. Landschaft und Vegetation im Wandel. - 160 S. u. Kartenband (12 Vegetationskarten auf DIN A1), Hrsg: Nds. Heimatbund, Hannover.
- RIPLEY, B.D. (1996): Pattern recognition and neural networks. Cambridge.
- RISSANEN, J. (1983): A Universal Prior for Integers and Estimation by Minimum Description Length. - In: Annals of Statistics, 11 (2), 417- 431.
- SCHOWENGERDT, R. (2007): Remote sensing: Models and methods for image processing. 3rd ed., Tucson, Arizona.

Kontaktadresse: nature-consult, Dr. Jörg Petersen, Hackelbrink 21, D-31139 Hildesheim,
E-Mail: Petersen@nature-consult.de, Web: www.nature-consult.de