

# Fernerkundung zur Unterstützung des FFH Monitorings am Beispiel des Truppenübungsplatzes Borkenberge

Oliver BUCK, Axel DONNING, Benedikt PETER und Kerstin WITTJEN

## Zusammenfassung

Für den Truppenübungsplatz Borkenberge in Nordrhein-Westfalen wurde ein auf Fernerkundung gestützter Ansatz zum Monitoring von Heidehabitaten entwickelt, mit dem Ziel notwendige Geländearbeiten durch automatische Vorinformationen zu unterstützen. Dabei wurde ein zwei-stufiges Verfahren eingesetzt. Zuerst erfolgt auf Basis multitemporaler RapidEye-Daten eine objektbasierte Klassifikation der Wald- und Gehölzbereiche. Anschließend erfolgt die Differenzierung der Heide- und Grashabitate im Offenland auf Basis einer sehr hoch aufgelösten WorldView-2 Szene (räumliche Auflösung 0,5 m). Die hierzu notwendigen Klassifikationsparameter werden mithilfe einer Data-Mining-Software ermittelt. Innerhalb dieses Beitrags werden die Ergebnisse dieses Klassifikationsansatzes beschrieben und anhand einer Validierung durch Geländedaten bewertet. Der entwickelte methodische Ansatz, verspricht für die Praxis eine Arbeits- und Kostenerleichterung (zum Beispiel Digitalisierung) für heidedominierte FFH-Lebensraumtypen auf ehemaligen und aktiven Truppenübungsplätzen. Geländebegehungen zur Ermittlung der individuellen Landbedeckungsklassen der verschiedenen Gebiete und zur Validierung der ermittelten Datensätze sind jedoch nach wie vor notwendig.

## 1 Einleitung

Für die nach der Fauna-Flora-Habitat (FFH) Richtlinie (92/43/EEC) und der Vogelschutzrichtlinie (79/409/EEC) ausgewiesenen Natura 2000 Schutzgebiete ist ein regelmäßiges Monitoring notwendig, um Zustands- und Flächenveränderungen der FFH-Lebensraumtypen (FFH-LRT) zu beobachten (Art.11 FFH Richtlinie). Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass Fernerkundungsmethoden eingesetzt werden können, um solche Veränderungen zu detektieren (BOCK et al. 2005, FÖRSTER et al. 2008, ALEXANDRIDIS et al. 2009).

## 2 Testgebiet und Methoden

Als Testgebiet für die Methodenentwicklung wurde hauptsächlich das FFH-Gebiet *Truppenübungsplatz Borkenberge* (DE-4209-304) bearbeitet. Das Untersuchungsgebiet umfasst circa 1800 Hektar, davon einen ca. 400 Hektar großen Offenlandbereich mit schützenswerten Heideflächen, die dem FFH-LRT „Trockene Heide“ zuzuordnen sind. Wegen des hohen

Gefahrenpotenzials (scharfe Munition, Blindgänger), dem eingeschränkten Zugang (militärischer Sicherheitsbereich, Zutritts-Verbot, Zuwiderhandlungen werden strafrechtlich geahndet) sowie der hohen Veränderungsdynamik, bedingt durch den militärischen Übungsbetrieb und des großen Flächenumfangs schützenswerter Biotope, besteht bei den gebietsbetreuenden Institutionen (Fachinstitutionen, Naturschutzzentrum Kreis Coesfeld) ein hohes Interesse am Einsatz von Fernerkundungsmethoden.

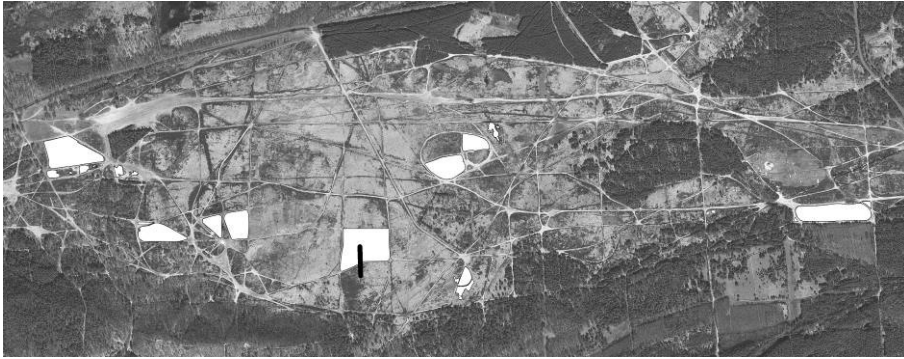
Die Bedeckung eines FFH-LRT (in %) mit charakteristischer Vegetation oder bestimmten Strukturen ist ein Schlüsselfaktor für die Bewertung des Erhaltungszustandes LRT (DRACHENFELS et al. 2005). Zu nennen sind hier zum Beispiel die Bedeckung der Fläche mit *Calluna vulgaris* oder das prozentuale Vorkommen von offenen Sandstellen.

Entsprechend diesen Bedingungen wurde unter Verwendung der Software Definiens Developer ein zwei-stufiges objektbasiertes Klassifikationsverfahren entwickelt. Objekt-basierte Bildklassifikationsverfahren besitzen gegenüber pixel-basierten Verfahren den Vorteil, das hier Nachbarschaften, Beziehungen und die Topologie zwischen homogenen Bildbereichen in verschiedenen Maßstabsbereichen genutzt werden können (BENZ et al. 2004, BLASCHKE 2010). In der ersten Stufe des Ansatzes erfolgte unter Verwendung von zwei RapidEye-Szenen (Frühjahr, Herbst) eine Bildsegmentierung und Klassifikation von Gehölz dominierten Habitaten (Wald, Feldgehölze, Baumgruppen). Anschließend wurde eine Detail-Klassifikation der Heide- und Gräser-dominierten Bildbereiche auf Basis einer sehr hoch aufgelösten WorldView-2 Satellitenbildszenen (Aufnahme Juni 2011, Panchromatische Auflösung 0,5 m, Multispektral = 2 m) vorgenommen. Hierbei werden die für eine Bewertung der Lebensräume wichtigen Landbedeckungsklassen Heide (*Calluna vulgaris*), Gräser (überwiegend *Molinia caerulea* dominiert), Mixed (Mosaik aus Heide, Gräsern, Moosen, Flechten und offenen Bodenstellen), Sand (offene Bodenstellen), Gehölze (ab 2 m Wuchshöhe) sowie Gewässer differenziert.

Zur Ermittlung der optimalen Klassifikationsparameter für diesen objektbasierten Fuzzylogical-Ansatz sind Trainingsflächen erforderlich, die im Vorfeld durch erfahrene Kartierer erhoben werden müssen. Die statistische Auswertung dieser Flächen erfolgte mit der Data-Mining-Software See5/C5.0 (weitere Informationen zum Verfahren s. BUCK et al 2011).

Zur Validierung der Klassifizierungsergebnisse wurde ebenfalls durch Vegetationskartierer stichprobenartig die Landbedeckung innerhalb von Testflächen und entlang eines Transekts im Gelände erhoben. Die Auswahl der Flächen erfolgte auf Basis der Gebietskenntnisse des Naturschutzzentrums Kreis Coesfeld (NZ), mit dem Ziel, repräsentative Vorkommen der Bedeckungsklassen als Referenzflächen im Gelände zu erhalten. Insgesamt wurden 10 Flächen mit einer Größe von ca. 10 ha kartiert.

Ein 100 m langes Transekt, bestehend aus  $1 \times 1$  m großen aneinandergereihten Flächen wurde so ausgewählt, dass sowohl sehr homogene, als auch extrem inhomogene Flächen abgedeckt wurden. Für jede der  $1\text{m}^2$  großen Flächen entlang des Transekts wurde ein Draufsicht – Foto im Gelände erstellt. Anschließend wurden in einem GIS visuell die Anteile der zuvor genannten Landbedeckungsklassen je Foto ermittelt (Abb. 3). Die Ergebnisse der Feldkartierung (Transekt und Flächen) wurden mit den Abgrenzungen der Klassifizierung in einer GIS Operation verschnitten und die daraus resultierenden Polygon-Einheiten mit den vor Ort geschätzten Flächenanteilen der Bedeckungen verglichen.



**Abb. 1:** Lage der kartierten Referenzflächen (weiß) und des 100 m Transekts (schwarz)

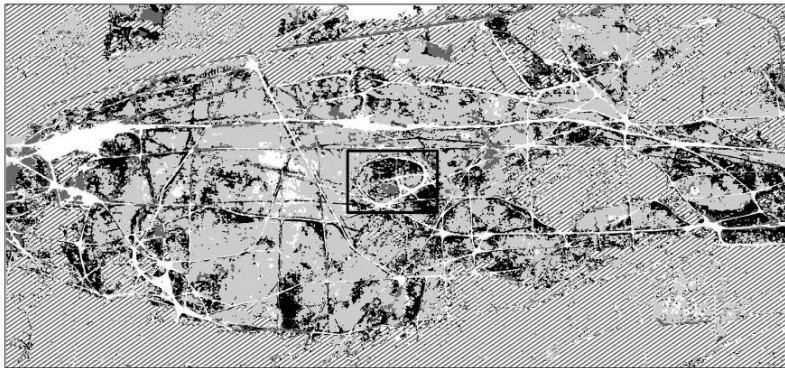
### 3 Ergebnisse

Das Klassifikationsergebnis (Abb. 2) zeigte die komplexen Verteilungsmuster von Heidevegetation (*Heide*), Gräsern (*Gras*, von *Molinia caerulea* dominiert), offenen Bodenstellen (*Sand*), kleinräumigen Mischbereichen (*Mixed*) und *Gehölzen*. Innerhalb der Transekt-Auswertung wurden 74 Transekt-Quadrate visuell ermittelt, die von Heide (*Calluna vulgaris*) dominiert werden (Tabelle 1). Dagegen wurden nur 37 Quadrate vollständig durch die objektbasierte Klassifikation als *Heide* erfasst. Die von der Gesamtzahl von 106 abweichende Größe von 53 Quadraten hängt damit zusammen, dass hier nur Quadrate ausgewertet wurden, welche vollständig einer Klasse zuzuordnen waren. Die Auswertung zeigte jedoch eine hohe Übereinstimmung der prozentualen Landbedeckung des Transekts und der objektbasierten Klassifikation.

**Tabelle 1:** Ergebnisse der Auswertung (Transekt-Stichproben) aus dem Testgebiet Borckenberge

Dominante Bedeckungen	Flächenanteil (Draufsichtfotos)		Klassifikation	
	Quadrate total	Prozent		
Heide	74	69,8 %	37	69,8 %
Gras	23	21,7 %	14	26,4 %
Sand	5	4,7 %	2	3,8 %
Mixed	4	3,74 %	0	0 %
Gehölze	0	0 %	0	0 %
Gesamt	106	100 %	53	100 %

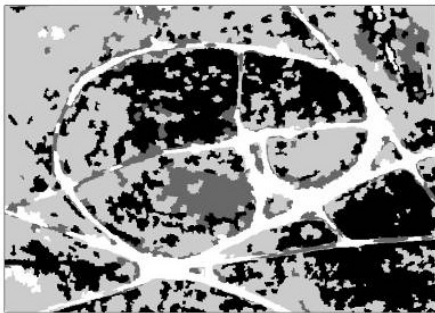
DE4209304 TÜP Borkenberge



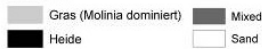
**Klassen**



DE4209304 TÜP Borkenberge (Ausschnitt)



**Klassen**



**Abb. 2:** Klassifikationsergebnis Truppenübungsplatz (TÜP) Borkenberge (Gesamtansicht oben und Detailausschnitt links)



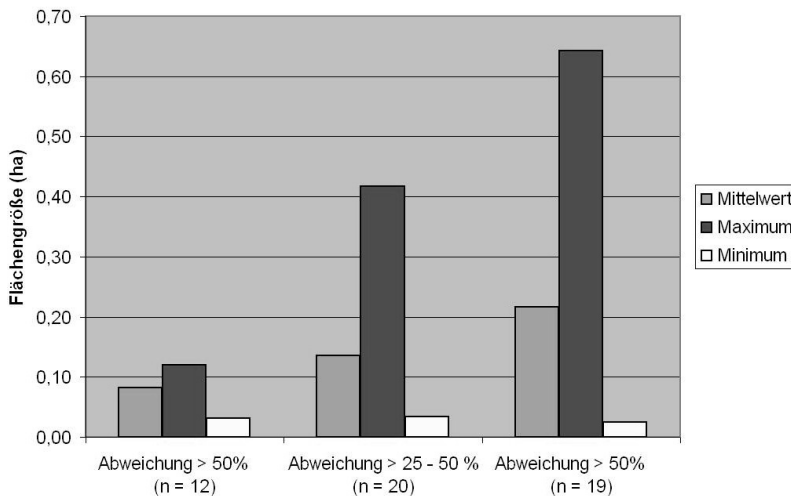
**Abb. 3:** Vergleich der Kartiererergebnisse einer Feldkartierung (schwarz) und der Ergebnisse der Bildsegmentierung (weiß)

**Tabelle 2:**

Vergleich der vor Ort und automatisch ermittelten dominanten Landbedeckungsklassen auf den Referenzflächen

	Ergebnis der Vor-Ort-Erfassung entspricht der Klassifizierung	Ergebnis der Vor-Ort-Erfassung entspricht nicht der Klassifizierung
Heide	18 (85,7 %)	3 (14,3 %)
Gras	17 (70,8 %)	7 (29,2 %)
Sand	0	2
Gehölz	1	2
Wasser	1	0

Ein ähnliches Ergebnis liefert auch der Vergleich der kartierten Beispielflächen mit den Klassifikationsergebnissen (Tabelle 2). Betrachtet man die Abhängigkeit der Klassifizierungsgüte zur Flächengröße bestätigt sich dieses Ergebnis. Hierfür wurden die Klassifikationsergebnisse nach der Abweichung der dominanten Klasse von den Ergebnissen der Feldkartierung in drei Klassen eingeteilt (Abweichung zwischen Feldkartierung und Klassifikationsangaben von über 50 %, 25 – 50 % und < 25 %). Dann wurden für jede Klasse Mittelwert, maximale und minimale Flächengröße der betroffenen Einzelflächen innerhalb der Geländereferenz (Abb. 3) ermittelt. Das Ergebnis zeigt, dass der Mittelwert aller Flächen von hoher Klassifizierungsgüte (Abweichung < 25 %) bei knapp über 0,2 ha liegt und kleiner Flächen deutlich schlechter klassifiziert werden (Abb. 4).

**Abhängigkeit der Klassifizierungsgüte der Flächengröße****Abb. 4:** Abweichungen der Geländekartierung und der objektbasierter Klassifizierungsgüte

## 4 Diskussion und Ausblick

Vergleicht man die kartographische Darstellung einer konventionellen Feldkartierung und einer automatischen Klassifikation, werden die grundsätzlichen Unterschiede der methodischen Ansätze deutlich (Abb. 4). Während in der Feldkartierung Flächen ähnlicher Ausprägung und mit ähnlicher Verteilung von Bedeckungen zusammengefasst werden, liefert der Bildanalyse-Ansatz die Grenzziehung zwischen spektral trennbaren Bedeckungsklassen. Daraus ergeben sich Probleme für die Bewertung solcher Lebensraumtypen in der Kombination von Feldkartierung und objektbasierter Klassifikation:

- a) Die Bewertungskriterien zur Erfassung des Erhaltungszustands eines FFH-LRT sind auf eine Erfassung im Gelände optimiert. Sie erlauben eine generalisierte Bewertung von Teilflächen/Bestandteilen des FFH-LRT (Bsp. prozentualer Anteil von offenen Bodenstellen), ohne Teilflächen objektscharf abzugrenzen (vgl. Abb. 4).
- b) Eine solche objektscharfe Abgrenzung der Teilflächen in den sehr heterogenen Heide-Lebensraumtypen ist im Gelände und in Anbetracht der Flächengrößen sehr zeitaufwendig und es ist unter Umständen auch sehr schwierig diese objektiv durchzuführen. Allerdings konnten auch in unserem Klassifikationsverfahren kleinräumige Änderungsmuster (<0,2ha) nicht optimal kartiert werden, wobei prozentuale Veränderungen der Landbedeckung großflächig sehr gut wieder gegeben wurden.

Auf Basis unserer Erfahrungen wird für Heidelebensräume auf Truppenübungsplätzen ein in diesem Sinne angepasstes Monitoring vorgeschlagen, in dem durch Fernerkundung ausgewiesenen Veränderungen (sogenanntes Change Detection) durch eine gezielte Feldkartierung ergänzt wird. Solche Change- Detection Ansätze werden von vielen Monitoring-Experten als sehr hilfreich angesehen (VANDEN BORRE et al. 2011). Auf Basis der Ergebnisse dieser Arbeit kann das folgende kombinierte Verfahren zum Monitoring der TÜP Borkenberge vorgeschlagen werden:

1. Festlegung der relevanten Landbedeckungsklassen zur Bewertung des FFH-LRT „Trockene Heide“. Im Falle des TÜP Borkenberge wurden folgende Klassen genutzt, die bei einer Übertragung auf andere Gebiete entsprechend angepasst werden müssten: Heide (Dominanz von *Calluna vulgaris*), Gras (Dominanz von Gräsern, vor allem der Gattung *Molinia*), Gehölze (Dominanz von Gehölzen > 2 m Wuchshöhe), Mixed (Heide, Gräser, Kryptogamen und offene Bodenstellen), Sand/Offenboden.
2. Vor-Ort-Erhebung von Trainingsflächen (ca. 1 Transekt pro 10 ha mit 100 Quadraten a 1m<sup>2</sup> gemäß Kapitel 2) oder flächenhafte Erfassungen von mindestens 10 Flächen > 1ha auf einer Gesamtfläche von ca. 500 ha) und objektbasierte Klassifikation unter Nutzung der Trainingsinformationen.
3. Ermittlung der Flächenanteile aller relevanten Landbedeckungsklassen innerhalb definierter (konstanter) Bezugsflächen mithilfe eines GIS.
4. Ermittlung und Bewertung von Landbedeckungsveränderungen innerhalb der Bezugsflächen.
5. Geländeerfassung der Change-Verdachtsflächen sowie stichprobenartige Evaluierung der Klassifizierungsergebnisse durch Kartierung vor Ort.

Die in dieser Arbeit erstellte Klassifikation kann als Referenzzustand für die Bewertung nach Punkt 5 genutzt werden. Mit dem vorgestellten Verfahren können somit flächig auftretende Veränderungen (z. B. Zunahme der Vergrasung, Sukzession der offenen Wege und der damit in diesem Gebiet verbundenen Reduzierung angrenzender Sandmagerrasenflächen) erkannt werden und somit Kartier- und Pflegemaßnahmen gezielter durchgeführt werden. Somit ist mit einem reduzierten Geländeaufwand zu rechnen. In Kauf genommen werden muss dabei allerdings die geringere Flächenschärfe der Kartierung, entgegen den bisherigen Verfahren. Ebenfalls können bestimmte Entwicklungsprozesse erst verzögert im Bild erkannt werden gegenüber einer Feldbegehung. So können z. B. neue Gehölze (als Indikator einer zunehmenden Verbuschung) in der Klassifikation erst ab einer gewissen Größe und Dichte erkannt werden. Im Zuge weiterer Arbeiten sollte untersucht werden, in wie weit die Ergebnisse dieser Arbeit auch statistische Aussagekraft haben (Auswahl und Anzahl an Transekte und Stichprobenflächen), und wie das Verfahren in einer Übertragung auf andere Truppenübungsplätze angepasst werden muss hinsichtlich der Landbedeckungsklassen und der Flächengrößen-Abhängigkeit der Ergebnisbewertung.

## Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten wurden innerhalb des DeCOVER 2 Projektes durchgeführt, gefördert durch die Bundesrepublik Deutschland – Zuwendungsgeber: Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen FKZ 50EE0908. Unser besonderer Dank gilt dem Naturschutzzentrum Kreis Coesfeld für die Unterstützung und Durchführung der Geländearbeiten, der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben -Bundesforst- und den britischen Streitkräften in Deutschland für den Zugang zum Gelände und die Bereitstellung von Referenzinformationen für das Untersuchungsgebiet.

## Literatur

- ALEXANDRIDIS, T. K., LAZARIDOU, E., TSIRIKA, A. & ZALIDIS, G.C. (2009), Using Earth Observation to update a Natura 2000 habitat. In: *Journal of Environmental Management*, 90, 2243-2251.
- BENZ, U. C., HOFMANN, P., WILLHAUCK, G., LINGENFELDER, I. & HEYNE, M. (2004), Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58 (3-4), 239-258.
- BLASCHKE, T. (2010), Object based image analysis for remote sensing. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65/1, 2-16.
- BOCK, M., XOFIS, P., ROSSNER, G., WISSEN, M. & MITCHLEY, J. (2005), Object oriented methods for habitat mapping in multiple scales: Case studies from Northern Germany and North Downs GB. In: *Journal for Nature Conservation*, 13, 75-89.

- BUCK, O., PETER, B., VÖLKER, A. & DONNING, A. (2011), Object based image analysis to support environmental monitoring under the European Habitat Directive: a case study from DECOVER. ISPRS Hannover Workshop 2011: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, Hannover, Germany, June 14 to June 17, 2011.
- DRACHENFELS, O. VON, BEUTLER, H., HÜBNER, T., LUDWIG, G, NEUKIRCHEN, M., SCHRÖDER, E., VISCHER-LEOPOLD, M., WAGNER, M. & WARNKE-GRÜTTNER, R. (2005), Empfehlungen zur Bewertung des Erhaltungszustands der FFH-Lebensraumtypen: Moore und Heiden. In: *Natur und Landschaft*, 80 (11), 484-488.
- FÖRSTER, M., FRICK, A., WALENTOWSKI, H. & KLEINSCHMIT, B. (2008), Approaches to utilising Quickbird-Data for the Monitoring of NATURA 2000 habitats. In: *Community Ecology*, 9 (2), 155-168.
- VANDEN BORRE, J., PAELINCKX, D., MÜCHER, C. A., KOOISTRA, L., HAEST, B., DE BLUST, G., SCHMIDT, A. M. (2011), Integrating remote sensing in Natura 2000 habitat monitoring: Prospects on the way forward. In: *Journal for Nature Conservation*, 19 (2), 116-125.